

***Projet de Physique P6***

**STPI/P6/2024 – 37**

**PRE-AMPLI A LAMPES ET CORRECTEUR  
RIAA - RÉALISATION**



**Étudiants :**

**Louis LENOBLE**

**Garance GODON**

**Quynh Chi PHAM**

**Simon CHOPIN**

**Enzo COEFFEC**

**Anton TRICCA**

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



*Cette page est laissée intentionnellement vierge.*



Date de remise du rapport : **14/06/2024**

Référence du projet : **STPI/P6/2024 – 37**

Intitulé du projet : **Pré-ampli à lampes et correcteur RIAA - Réalisation**

Type de projet : **Montage électronique, tests et simulations**

Objectifs du projet :

***Ce projet a pour objectif de consolider ou acquérir quatre compétences. D'abord, il vise à nous faire chercher et comprendre le fonctionnement global d'un pré-ampli à lampes. Ensuite, ce travail nous permet de nous initier aux montages électroniques avec la conception d'un pré-ampli. De plus, il nous donne l'occasion de renforcer nos compétences de P3 grâce à une phase de tests et de comparaisons entre les résultats théoriques et expérimentaux. Enfin, le travail en équipe est mis en valeur afin de compléter cet exercice.***

***Enfin, le but de ce projet est de pouvoir garantir une amplification audio correcte, et ainsi, écouter de la musique.***

Mots-clefs du projet : **Simulation, montage, test, électronique**

## TABLE DES MATIERES

1. Remerciements.....	5
2. Introduction.....	7
3. Méthodologie / Organisation du travail.....	9
3.1. Organisation du travail.....	9
3.2. Déroulement d'une séance.....	9
4. étude d'un pré-ampli à lampes.....	9
4.1. Qu'est-ce qu'un pré-ampli ?.....	10
4.2. Comment fonctionne notre pré-ampli ?.....	10
5. Travail Réalisé.....	12
5.1. Travail préliminaire.....	12
5.1.1. Inventaire.....	12
5.1.2. Initiation à la soudure.....	12
5.2. Montage.....	13
5.2.1. Soudure.....	13
5.2.2. Assemblage final.....	14
5.2.3. Problèmes rencontrés / Remarques.....	14
5.3. Tests.....	15
5.3.1. Prises des mesures.....	15
5.3.2. Comparaisons.....	16
6. Conclusions et perspectives.....	22
6.1. Conclusions sur le travail réalisé.....	22
6.2. Conclusions sur l'apport personnel de cet E.C. projet.....	22
7. Bibliographie.....	23
8. Annexes.....	24
8.1. Plan de conception.....	24
8.2. Schéma de montage.....	25

## 1. REMERCIEMENTS

En premier lieu, nous souhaiterions remercier l'INSA de nous avoir offert la possibilité, de par son implication et son financement, de réaliser ce projet.

Nous voudrions aussi remercier M.Grisel, notre enseignant encadrant, de nous avoir accompagné tout au long du projet, nous partageant ses connaissances et nous permettant de réaliser ce pré-ampli.

Finalement, nous tenons à remercier le service du laboratoire d'électronique : Pascal Williams et Michael Jolly. Ils nous ont guidés et répondu à nos questions pendant ce semestre.

## NOTATIONS, ACRONYMES

RIAA : Recording Industry Association of America

MM : Moving Magnet

MC : Moving Coil

GBF : Générateur Basse Fréquence

## 2. INTRODUCTION

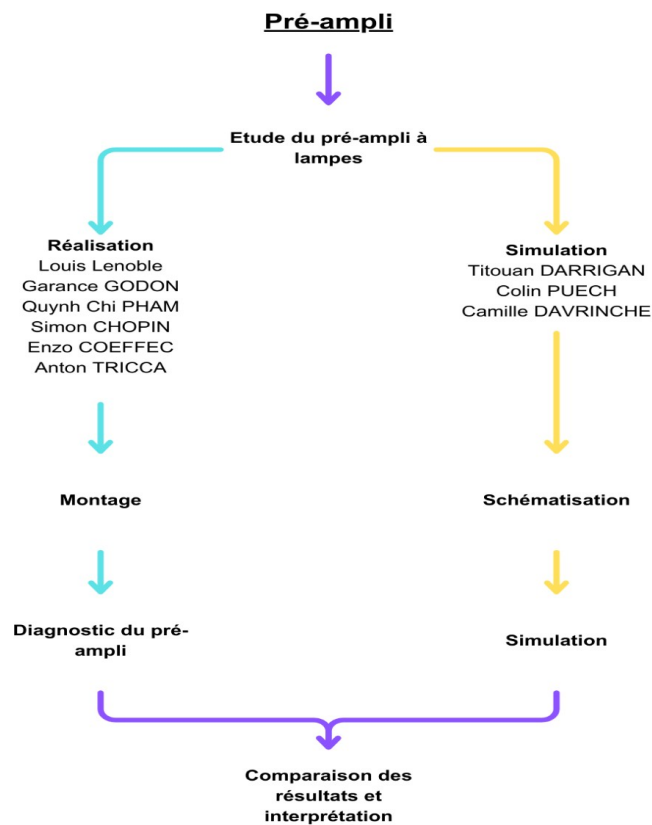
Lors de la deuxième année de notre cursus STPI au sein de l'INSA Rouen Normandie, nous avons la chance de pouvoir participer à l'EC de projet scientifique encadré. Celui-ci offre la possibilité de choisir un sujet parmi quarante-sept proposés et d'y travailler en groupe tout au long du quatrième semestre. Son but est d'attiser notre curiosité scientifique tout en renforçant diverses compétences telles que la recherche d'information, l'organisation d'un groupe de travail, ou encore le développement d'un sens critique. Nous avons été attirés par le travail de réalisation d'un pré-ampli à lampes car c'est un projet concret, qui permet à terme la conception d'un système électronique complexe et fonctionnel.

Les amplificateurs à lampes inventés au début du XXe siècle ont révolutionné le monde de l'électronique. Lee De Forest, souvent crédité comme l'inventeur du premier tube électronique « Audion » en 1906 a ouvert la voie à l'amplification des signaux électriques. Ces amplificateurs ont connu une large démocratisation dans les années 1930 à 1960, devenant essentiels dans les domaines de la radio, de la télévision et de la musique. Leur capacité à produire un son chaud et harmonieux les a rendus particulièrement prisés dans les applications audio haute-fidélité, malgré la montée en puissance des amplificateurs à transistors dans les années 1960. Ces derniers offraient des avantages en termes de taille, de coût et de consommation énergétique. Aujourd'hui, les amplificateurs à lampes conservent une niche fidèle, notamment parmi les audiophiles et les musiciens, en raison de leur qualité sonore unique.

En tant qu'élèves ingénieurs, ce projet est donc particulièrement intéressant, car il offre une opportunité de combiner théorie et pratique dans un domaine emblématique de l'électronique. Nous avons ainsi l'occasion de comprendre le fonctionnement de composants électroniques classiques, comme les tubes à vide, mais aussi les principes de l'amplification. Cela permet d'aborder des notions fondamentales tout en les appliquant à une technologie qui, malgré son ancienneté, reste pertinente et appréciée dans des secteurs spécialisés.

A travers ce rapport, nous aurons l'occasion de vous expliquer la façon dont nous avons choisi de travailler et de se répartir les tâches. Pour commencer, une première approche du fonctionnement d'un pré-ampli sera faite. Par la suite, nous détaillerons les étapes de construction de notre pré-ampli. Après quoi nous ferons un diagnostic complet afin de déterminer si notre création est utilisable ou non. Finalement, un bilan de ce projet mettra en lumière les compétences techniques et personnelles acquises.

Figure 1: Schéma de la répartition des tâches





### **3. MÉTHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL**

L'organisation est un élément essentiel pour la réussite de tout projet complexe, et notre travail sur le préamplificateur à lampes ne fait pas exception. Une bonne organisation permet de structurer les différentes étapes du projet, d'optimiser le temps, et de garantir la qualité des résultats. Dans cette partie, nous allons expliquer notre méthode de travail, en détaillant la répartition des responsabilités et la gestion des échéances. Cette approche méthodique nous permet d'anticiper les difficultés, d'éviter les retards et d'assurer une progression fluide.

#### **3.1. Organisation du travail**

Le but de la première séance était de se familiariser avec les pré-amplis à lampes mais aussi avec les plans qui nous étaient fournis. Nous avons été informés du fonctionnement global de chaque partie du projet.

À la fin de cette séance, nous avons eu la possibilité de choisir la direction de notre travail en optant soit pour la partie simulation, dont l'objectif était de modéliser et analyser le comportement du préamplificateur à l'aide de logiciels spécialisés, soit pour la partie conception, consistant à monter les différentes parties du circuit. Le groupe était donc divisé en deux.

Notre équipe était chargée de construire le pré-ampli. Celui-ci étant constitué de plusieurs unités (quatre au total), nous avons choisi de nous diviser en deux groupes de deux personnes afin d'avancer au plus vite. Dans chaque sous-groupe, un élève avait la responsabilité de regarder l'emplacement et le positionnement du composant à souder, et l'autre, de souder.

Lors des phases de tests, nous avons gardé cette même tactique. En effet, un groupe était chargé de prendre les mesures et de les communiquer à l'autre groupe. Ce dernier avait la responsabilité de faire les calculs nécessaires ainsi que les graphiques..

#### **3.2. Déroulement d'une séance**

Chaque séance débutait par une mise au point. Celle-ci consistait à se mettre d'accord sur les tâches terminées et sur les tâches à réaliser, mais aussi à répondre aux éventuelles questions. Ensuite, nous tentions d'avancer au maximum sur les objectifs que nous nous étions fixés pour la séance. Lorsque celle-ci touchait à sa fin, une nouvelle discussion était faite afin de savoir si des recherches ou travaux étaient nécessaires avant la séance suivante. Nous prévoyions également les objectifs de la séance suivante pour être relativement prêts en arrivant à celle-ci.

## 4. ÉTUDE D'UN PRÉ-AMPLI À LAMPES

Afin de réussir ce projet, l'une des premières étapes était de comprendre le fonctionnement global d'un pré-ampli à lampes. En effet, en maîtrisant les principes de base, nous pouvions non seulement assembler notre propre circuit en évitant un grand nombre de problèmes, mais aussi analyser ses performances de manière efficace. Durant cette partie, nous vous présenterons une définition globale d'un pré-ampli à lampes et de ses composants principaux. Nous aurons ensuite l'occasion de comparer les amplificateurs à lampes avec les amplificateurs à transistor.

### 4.1. Qu'est-ce qu'un pré-ampli ?

Le niveau de sortie audio de la cellule phono d'une platine vinyle est assez faible. En effet, pour comparer, le niveau de ligne d'un lecteur CD a une valeur efficace de l'ordre de 2 V alors que celui d'une cellule phono MM (Moving Magnet) va se trouver à moins de 4 mV et pour une cellule phono MC (Moving Coil). Ce signal peut être encore plus faible, c'est à dire inférieur à 0,2 mV. Pour rappel, le niveau de ligne est l'amplitude d'un signal électrique utilisé pour transmettre le son analogique entre équipements : lecteur de CD ou de DVD, amplificateur audio, carte son, console de mixage.

L'utilisation d'un pré-amplificateur phono est donc indispensable pour amplifier le signal audio qui sort d'une platine vinyle. Un préamplificateur phono a aussi une deuxième utilité : appliquer la courbe d'égalisation, ou de correction RIAA au signal audio.

Dans l'industrie du disque, de nombreuses courbes d'égalisation ont été utilisées pour l'enregistrement, la fabrication et la commercialisation des disques, notamment dans les années 1940. À cette époque, plus de 100 courbes d'égalisation différentes étaient disponibles sur le marché, ce qui diversifiait le rendu sonore des disques sur chaque système, chacun utilisant une pré-amplification et un filtrage distincts. Parmi les courbes les plus connues, on trouvait celles de Columbia, Decca, European, Victor, Associated, BBC, NAB, Orthacoustic, World et FFRR. Aux alentours de 1954, la courbe d'égalisation RIAA (Recording Industry Association of America) s'impose comme la norme de l'industrie du vinyle. Cette courbe reflète les limites physiques du disque microsillon. En effet, les petites ondulations des aigus et les grandes ondulations des graves ne pouvaient coexister dans le sillon sans interférer les unes avec les autres. Il a donc été décidé d'augmenter les aigus (+20 dB à 16 kHz) vulnérables au bruit et d'atténuer les graves (-20 dB à 20 Hz), lors de la gravure des disques vinyles. Ainsi, le pré-amplificateur phono d'une platine vinyle a pour tâche importante d'effectuer une correction inverse pour rétablir l'équilibre entre les fréquences, et tout ça grâce à la courbe RIAA.

### 4.2. Comment fonctionne notre pré-ampli ?

Notre préamplificateur est un préamplificateur à lampe. Sa spécificité est donc l'utilisation de lampes pour effectuer l'amplification du signal audio. Dans notre projet, les tubes à vide (lampes) que nous utilisons sont des double triodes ECC82/12AU7A :

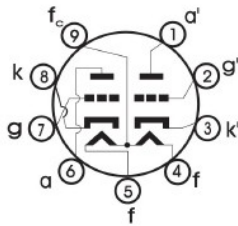


Figure 2: Schéma d'une double triode

<b>Tension anode</b>	$U_a$	250 V
<b>Tension grille</b>	$U_g$	-8,5 V
<b>Intensité anode</b>	$I_a$	10,5 mA
<b>transconductance</b>	$S$	2,2 mA/V
<b>Amplification</b>	$\mu$	17
<b>Résistance interne</b>	$R_i$	7,7 k $\Omega$

Figure 3: Caractéristiques typiques et conditions d'utilisation d'une double triode ECC82

1 et 6 : anodes

3 et 8 : cathodes

2 et 7 : grilles

4 et 5 : filaments de chauffage

Les doubles triodes sont des tubes à vide comprenant deux sections de triodes indépendantes dans un même tube. Chaque triode fonctionne sur le principe de l'émission thermoionique, où la cathode, chauffée soit directement par un filament soit indirectement par un filament séparé, émet des électrons par effet thermoélectrique.

La cathode émet des électrons lorsqu'elle est chauffée, et ces électrons sont attirés vers l'anode en raison d'une différence de potentiel positive entre la cathode et l'anode. Ce flux d'électrons crée un courant électrique. Une grille de contrôle, placée entre la cathode et l'anode, permet de moduler ce courant en fonction de sa tension. Si la grille est négative par rapport à la cathode, elle repousse les électrons, réduisant ainsi le courant vers l'anode. Inversement, si la grille est moins négative, elle laisse passer plus d'électrons, augmentant ainsi le courant anodique. Cette modulation permet l'amplification du signal d'entrée.

Les doubles triodes sont particulièrement utiles dans les circuits de pré-amplification car elles offrent deux étages d'amplification dans un seul tube, permettant des conceptions de circuits plus compactes et efficaces. Des exemples courants incluent les triodes ECC83 (12AX7), ECC82 (12AU7), et ECC81 (12AT7), chacune offrant des caractéristiques de gain et d'impédance différentes, adaptées à diverses applications audio. Par exemple, la 12AX7 est connue pour son haut gain et sa sonorité chaleureuse, tandis que la 12AU7 (ce que nous utilisons) offre un gain plus faible et est utilisée là où une amplification moindre est souhaitée.

Le facteur le plus important est donc que la courbe caractéristique du tube à vide est une fonction quadratique par laquelle il produit une distorsion appelée seconde harmonique. La seconde harmonique est une fréquence double du son original, et un facteur harmonique qui est abondamment produit par divers instruments de musique et qui donne de la profondeur et de la richesse au son. D'autre part, la distorsion produite par un amplificateur à semi-conducteurs (un autre type de préamplificateur) est principalement constituée de multiples de nombres impairs. Il en résulte un son différent du son original, ce qui est un peu plus désagréable pour les auditeurs.

## 5. TRAVAIL RÉALISÉ

Maintenant que nous avons étudié et compris le fonctionnement d'un préamplificateur à lampes, nous pouvons passer en revue les différentes étapes de notre projet. Cette partie décrira en détail les tâches que nous avons réalisées, de la conception pratique, jusqu'aux tests de notre pré-ampli. Chaque étape sera présentée pour illustrer notre processus de travail et les compétences acquises tout au long du développement du pré-amplificateur.

### 5.1. Travail préliminaire

#### 5.1.1. Inventaire

Avant de commencer la réalisation concrète du projet, nous avons dû effectuer une étape cruciale de tri des composants. Cette étape visait à organiser et vérifier tous les éléments nécessaires, tels que les résistances, condensateurs, tubes à vide et autres, pour s'assurer que rien ne manquait et que chaque pièce était en bon état. Un inventaire ordonné des composants a permis de minimiser les risques d'erreurs et de faciliter le montage ultérieur.

Nous avons alors disposé chaque composant sur des feuilles en les regroupant par unité. Sous chaque composant, nous avons écrit leur référence afin de les retrouver sur les plans de montage.

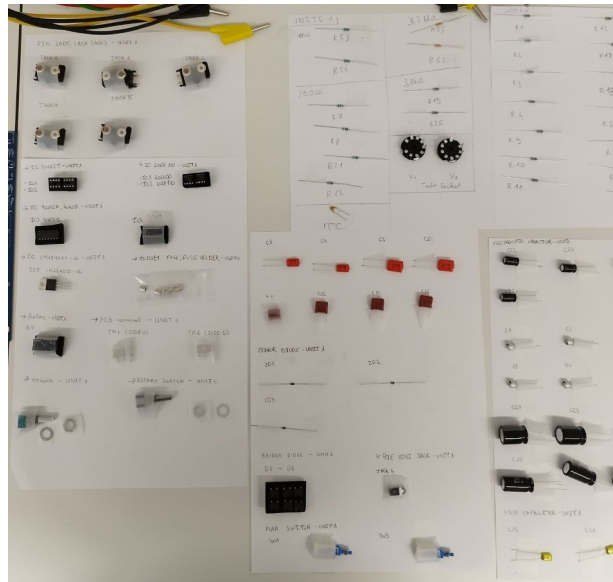


Figure 4: Photo d'une partie de l'inventaire

### 5.1.2. *Initiation à la soudure*

Parallèlement, nous avons eu une initiation à la soudure, une compétence indispensable pour assembler correctement les circuits électroniques. Apprendre les techniques de soudure nous a permis de garantir des connexions solides et fiables, réduisant ainsi les risques de court-circuits, ou de mauvaises connexions qui pourraient compromettre le fonctionnement du préamplificateur.

Ces deux étapes préliminaires ont été essentielles pour préparer le terrain à un montage précis et sécurisé de notre système

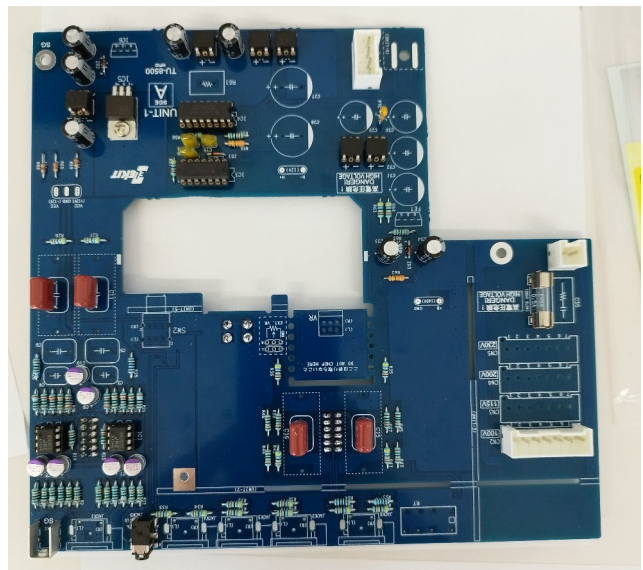
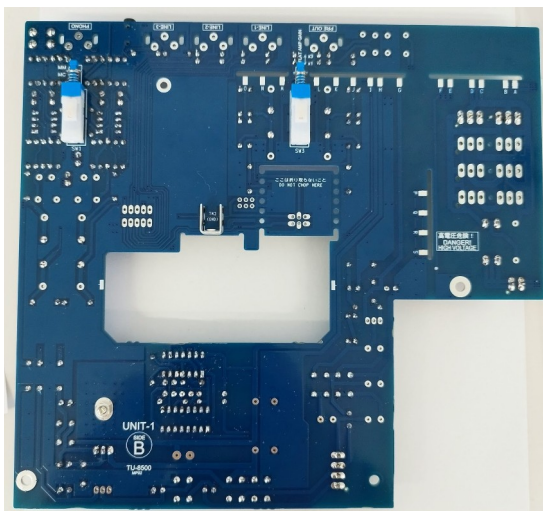
## 5.2. Montage

### 5.2.1. *Soudure*

Après avoir terminé cette étape préliminaire, nous avons pu commencer la fabrication du circuit. Celle-ci consistait à vérifier sur le plan la localisation et le positionnement des composants à souder (voir annexe 1 ). Les éléments les plus petits étaient soudés en priorité afin de garantir un bon maintien. Chaque soudure était minutieusement vérifiée pour éviter tout dysfonctionnement ou casse.

Bien que nous ayons été très vigilants, il arrivait parfois que nous fassions des erreurs de montages, telles que l'utilisation d'un mauvais composant ou l'inversion de son sens. Pour corriger ces erreurs, nous devons dessouder le composant concerné en utilisant une pompe à dessouder, qui aspire l'étain fondu.

Nous devons également veiller à éviter les soudures sèches, souvent causées par un manque d'étain ou de temps de chauffe. Ces soudures ne garantissent pas une connexion électrique correcte avec le composant, ce qui peut ajouter une résistance non voulue.



*Figure 5: Photos d'une unité après une session de soudure*



### 5.2.2. **Assemblage final**

Une fois les composants soudés sur les cartes, nous avons procédé à l'assemblage de ces dernières. Ensuite, il fallait installer le système dans le boîtier fourni et connecter les différents boutons. Cette étape finale a été assurée par les membres du laboratoire d'électronique Pascal WILLIAMS et Michael JOLLY pour nous permettre de nous concentrer sur d'autres tâches plus instructives.

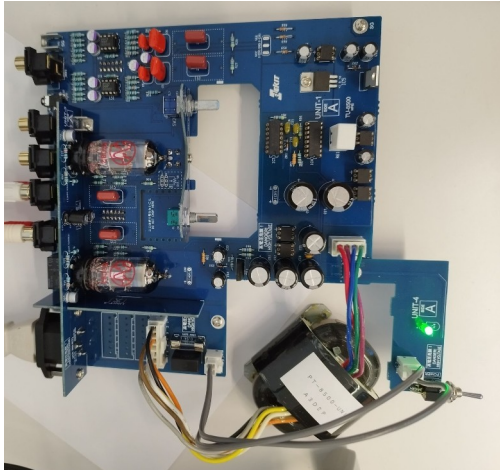


Figure 6: Photo du pré-ampli avant l'assemblage final

Figure 7: Photo après l'assemblage final

### 5.2.3. **Problèmes rencontrés / Remarques**

Lors de la construction du système, nous avons fait une erreur de lecture du plan qui aurait pu être critique. En effet, un connecteur d'alimentation devait être soudé à un emplacement spécifique, selon le voltage des prises de courant de notre région. Dans notre cas, le connecteur devait être à l'emplacement des 230V. Cependant, nous l'avons soudé à l'emplacement des 100V (prises du japon), car c'est ce que nous avons lu sur le schéma fourni dans la notice (japonaise) de notre pré-ampli. Heureusement M.GRISEL, le professeur responsable de notre projet, a vite détecté l'erreur, ce qui a permis d'éviter une surtension lors de notre phase de test.

La phase de montage de notre pré-amplificateur à lampes a été une expérience enrichissante qui nous a permis d'acquérir plusieurs compétences essentielles. En plus de perfectionner nos techniques de soudure, nous avons appris à organiser et gérer un inventaire de composants de manière méthodique, garantissant ainsi l'efficacité et la précision du montage. La nécessité de vérifier minutieusement chaque étape et de corriger les erreurs nous a enseigné l'importance de la rigueur et de l'attention aux détails dans les projets électroniques.

En conclusion, cette partie du projet nous a non seulement permis de monter un préamplificateur à lampes fonctionnel, mais elle a également consolidé notre expertise en électronique pratique, nous préparant à aborder des projets plus complexes à l'avenir.

### 5.3. Tests

Lorsque le montage est achevé, une étape essentielle reste à accomplir : la phase de test. Cette étape consiste à vérifier le bon fonctionnement de notre préamplificateur à lampes et à s'assurer qu'il répond aux spécifications techniques requises. Le but principal de cette phase est de détecter tout dysfonctionnement ou toute anomalie dans le circuit et de les corriger avant la mise en service du dispositif. Nous allons alors vous décrire quels ont été les critères que nous avons pris en compte, et les méthodes utilisées, afin de déterminer si notre pré-ampli possède des défauts. Ensuite, nous comparerons les données que nous avons mesurées avec les valeurs de simulation que l'autre groupe a trouvé.

#### 5.3.1. Prises des mesures

Le diagnostic du pré-ampli a été fait en deux phases principales. Une première consistait à vérifier et comparer les valeurs de tension à différents endroits de notre assemblage avec les valeurs constructeurs (voir annexe 2). Ces tensions ont au début été mesurées sans installer les lampes. En effet, nous n'avions aucune certitude que nos soudures étaient correctement faites, et un court-circuit était une possibilité à envisager. Nous aurions pris le risque d'abîmer nos lampes.

Par exemple, nous avons commencé par vérifier l'alimentation du circuit, en effectuant une mise sous tension puis en branchant un voltmètre aux bornes concernées (voir zoom ci-dessous).

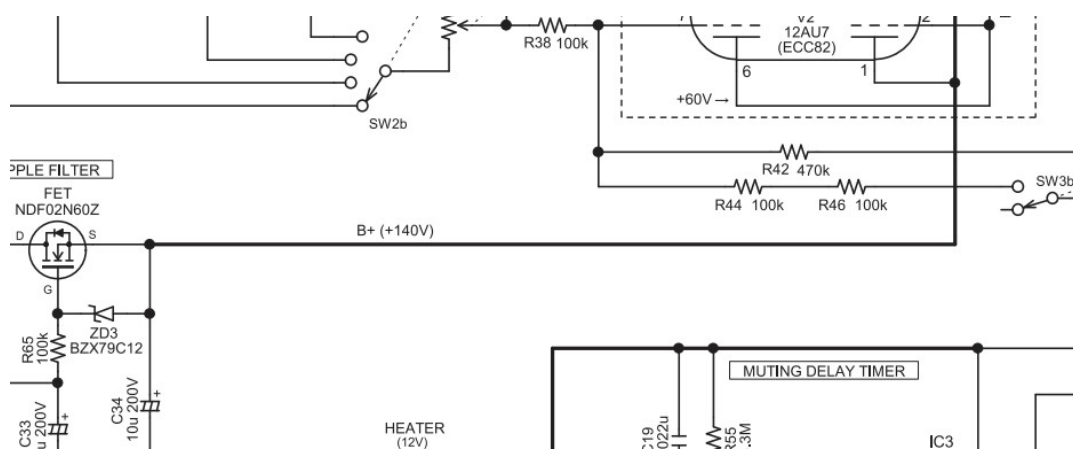


Figure 8: Partie du schéma du pré-ampli

Nous avons utilisé le même mode opératoire pour d'autres parties du circuit : VCC, VEE et Heater. Par ailleurs, VCC correspond à la broche de la tension d'alimentation positive du circuit et VEE à la tension d'alimentation négative. Nous avons ensuite ajouté les lampes et mesuré les tensions à leurs bornes (à la résistance 47 puis 48), puis entre différentes broches de leur socle (entre les broches 3 à 8).

Cependant, pour évaluer pleinement la performance du pré-ampli, il est nécessaire de réaliser d'autres tests afin d'identifier si le signal est correctement amplifié et traité. Pour cela, trois séries de mesures ont été effectuées. Tout d'abord, une première série de mesures faisait passer le signal à travers le filtre RIAA et l'amplificateur (soit par le système complet), afin de vérifier l'efficacité de l'amplification et du filtrage dans leur globalité. C'est une étude sur le système complet. Ensuite, une deuxième série de mesures faisait passer le

signal uniquement dans le filtre RIAA, permettant d'évaluer son fonctionnement indépendamment de l'amplificateur. Enfin, nous avons fait passer le signal uniquement dans l'amplificateur, afin de vérifier son efficacité d'amplification isolée. Afin d'envoyer ce signal à travers notre circuit, nous plaçons un oscillateur électronique (GBF) en entrée du préampli à 20 mV crête à crête (pour une plage de 20Hz à 20000Hz, correspondant aux limites de l'audition humaine). De plus, pour mesurer le signal en sortie, nous plaçons un oscilloscope au niveau des différentes sorties.

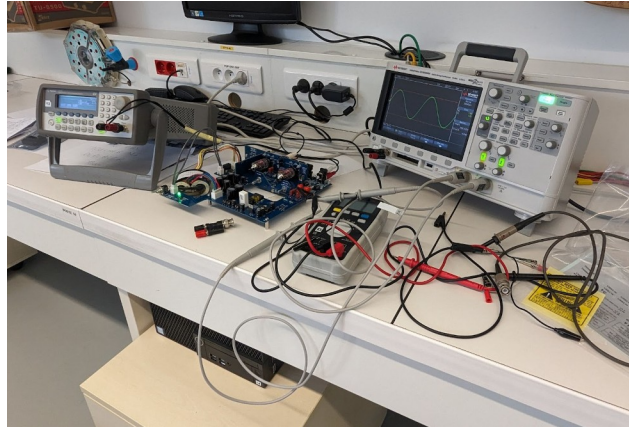


Figure 9: Photo de notre dispositif de mesure

### 5.3.2. Comparaisons

Maintenant que nous avons compris comment nos mesures ont été effectuées, nous pouvons les comparer et en déduire si notre pré-ampli présente des défauts. Tout au long de cette partie, nous considérerons que les résultats sont satisfaisants lorsque l'écart relatif ne dépasse pas les 10%. Pour les mesures préliminaires, voici un tableau récapitulatif:

Élément à vérifier	Donnée constructeur (en V)	Mesure sans lampes (en V)	Écart relatif
Alimentation	140	157,8	12,71%
VCC	12	12,08	0,67%
VEE	-12	-11,91	0,75%
Heater	12	20	66,67%



Élément à vérifier	Donnée constructeur (en V)	Mesure avec lampes (en V)	Écart relatif
lampe 1 (R47)	140V / 62	144,8 / 64,4	3,42% / 3,87%
lampe 2 (R48)	140V / 62	145,1 / 66,8	3,64% / 7,74%
lampe 1 (broche 3 à 8)	2,5	2,658	6,32%
lampe 2 (broche 3 à 8)	2,5	2,675	7,00%

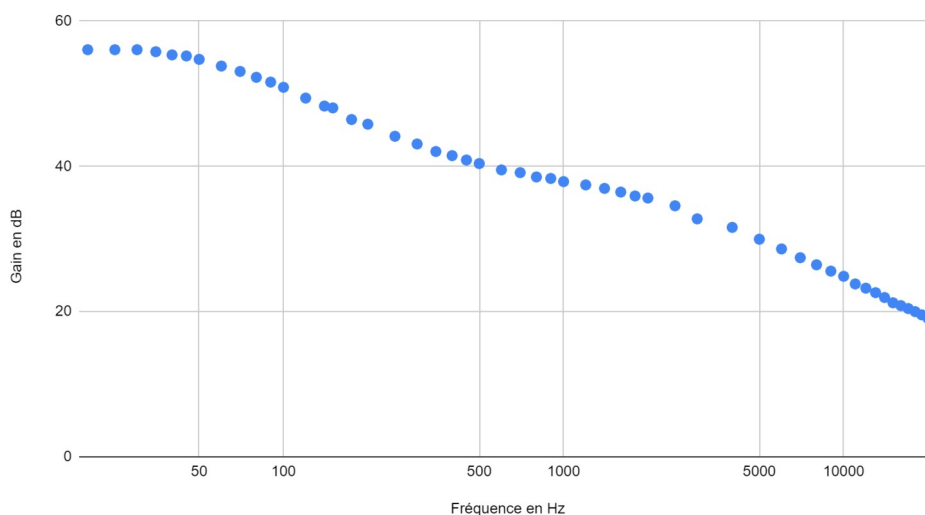
Par exemple pour l'alimentation, la valeur constructeur est de 140 V et nous avons mesuré 157 V. Cela correspond à un écart relatif de 12% avec l'indication constructeur. Globalement, les valeurs sont plutôt satisfaisantes du fait qu'aucune ne dépasse les 10% d'écart avec les valeurs de simulation. Seules l'alimentation et le Heater ne respectent pas cela. Pour le cas de l'alimentation, la valeur reste relativement proche et peut être encore acceptable. Cependant, pour le Heater, dont l'écart relatif est de 66% donc énorme, cela peut être dû au fait que nous n'avions pas placé les lampes sur leur socle.

Ensuite, nous pouvons comparer les valeurs de la deuxième partie de nos mesures. Ces comparaisons seront déterminantes afin de savoir si notre pré-amplificateur est réellement fonctionnel ou non. Nous effectuons les comparaisons avec le gain obtenu en dB à l'aide de la formule suivante :

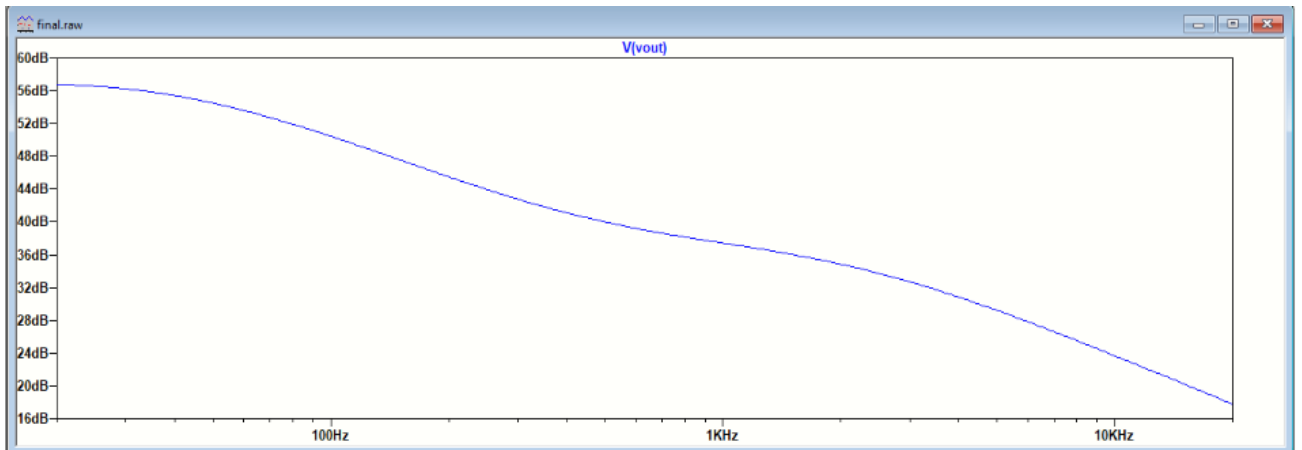
$$G=20 \log(U \text{ Sortie}/U \text{ entrée})$$

Afin d'éviter une surcharge de données non nécessaires, voici une courbe des gains que nous avons obtenus :

Gain en sortie du préampli

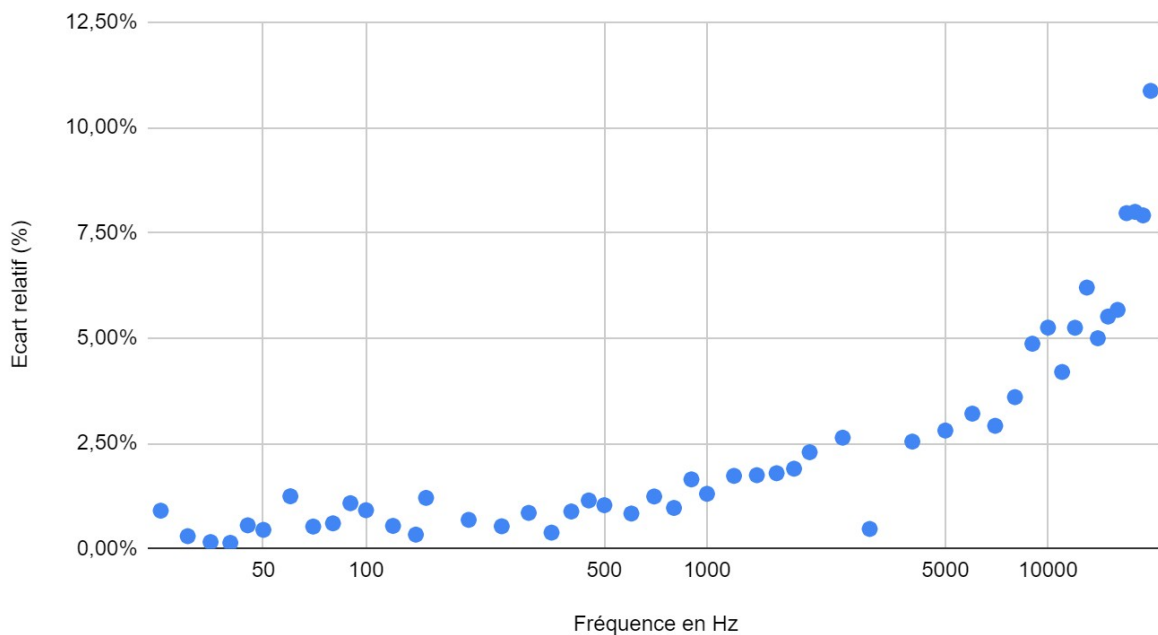


Maintenant, voici la courbe qu'a obtenu le groupe de simulation:

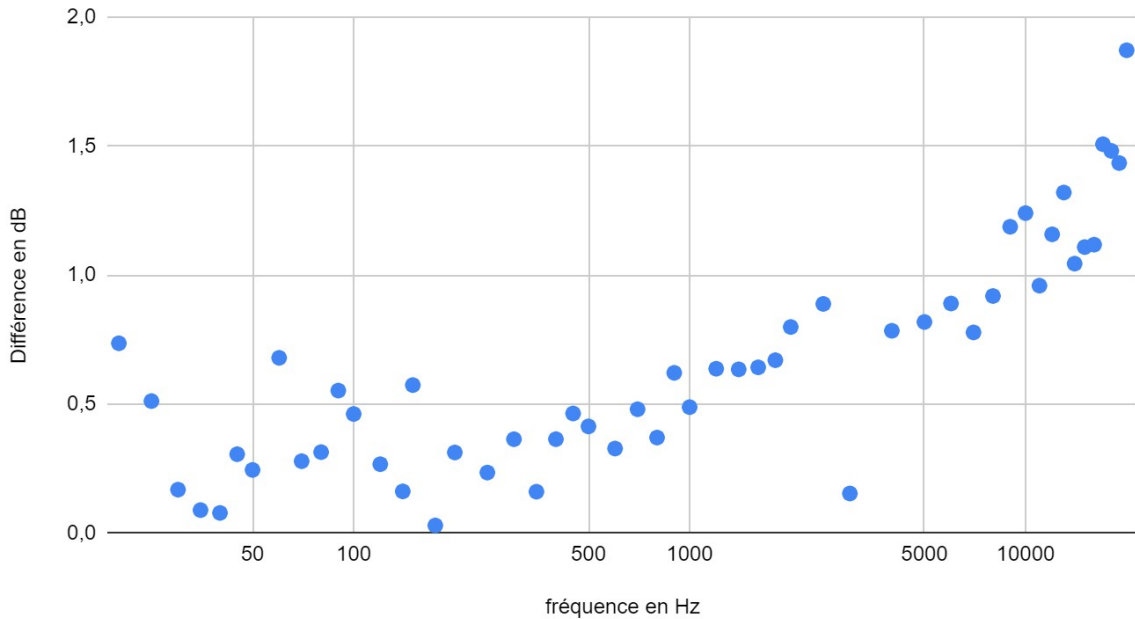


A première vue, ces deux courbes sont plutôt ressemblantes. Pour nous assurer que les valeurs coïncident, nous avons tracé la courbe des différences puis des écarts relatifs entre les valeurs mesurées et les valeurs de simulations pour les fréquences de 20Hz à 20 000 Hz :

Ecart relatif en fonction de la fréquence



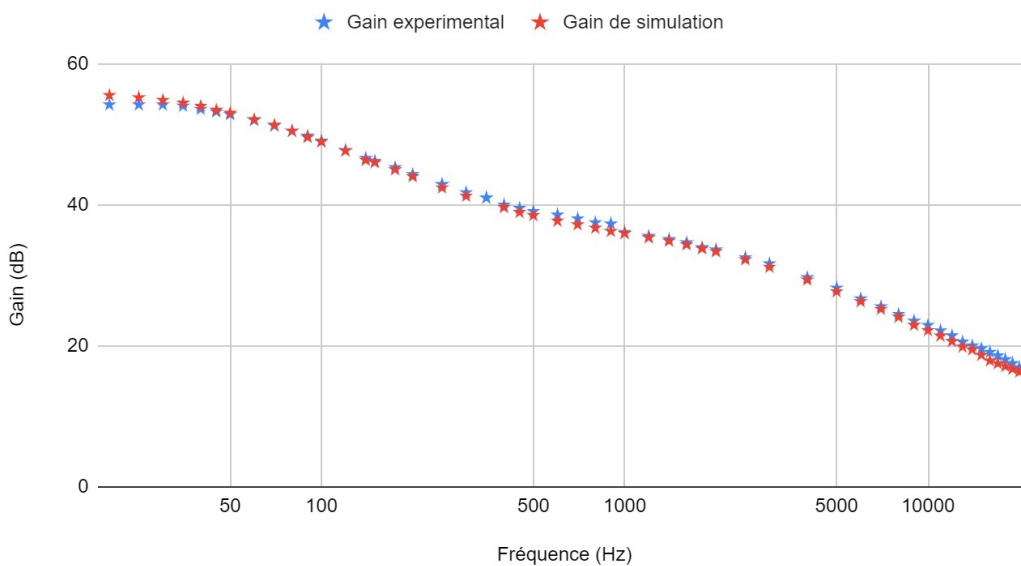
### Différence entre les valeurs de simulation et les valeurs mesurées



Cette courbe nous indique alors que toutes les valeurs sauf une (qui reste convenable) sont en dessous des 10% d'écart relatif. Dans un premier temps, nous pouvons donc nous rassurer car tout indique que le pré-amplificateur fonctionne comme il le devrait. Ensuite, nous pouvons remarquer que les écarts relatifs sont de plus en plus forts en fonction de la fréquence. Cela vient sûrement du fait que le système renvoie un signal moins précis dans les hautes fréquences, et donc que les mesures sont plus difficiles.

Bien que ces mesures soient satisfaisantes, continuons d'approfondir nos tests. Voici la courbes des gains de simulation et expérimentaux après le filtre RIAA:

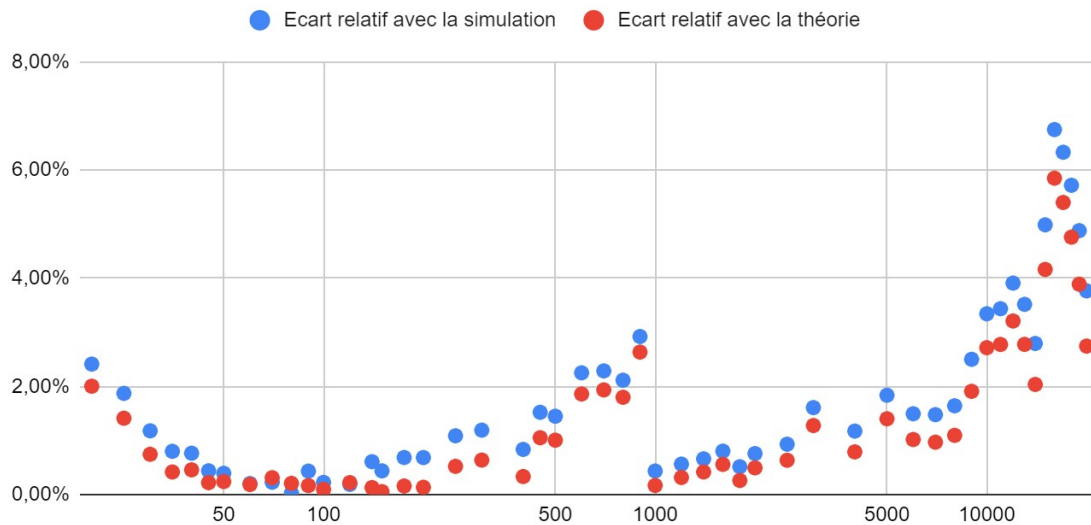
### Gain en sortie du filtre RIAA



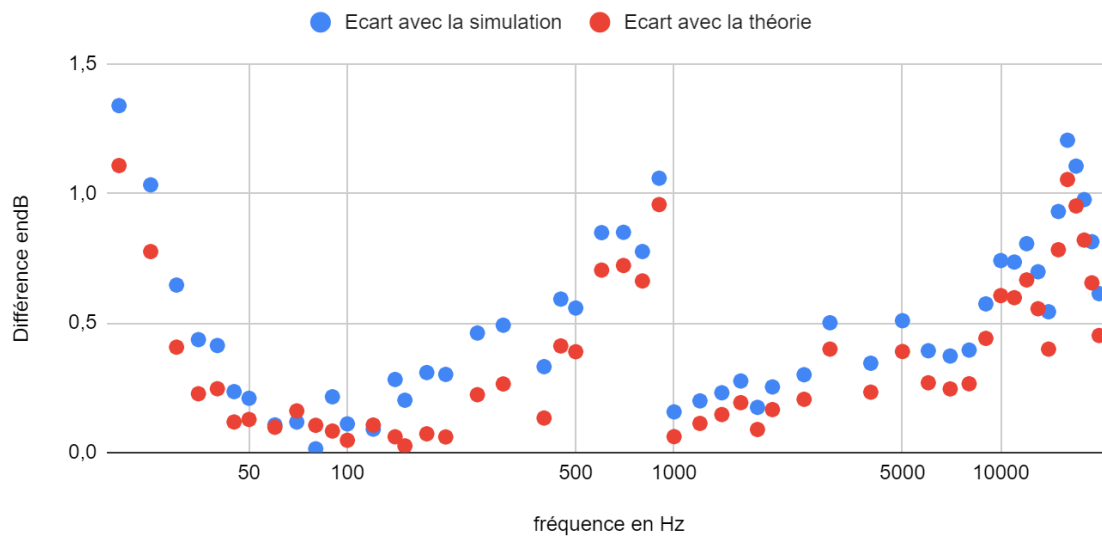
**Remarque:** nous n'avons pas ajouté les valeurs théorique sur le graphique pour éviter une surcharge de points

Les deux courbes sont très semblables et se superposent presque. Reprenons le même principe, regardons ce qu'il en est des écarts relatifs:

### Écarts relatifs en fonction de la fréquence



### Différence entre les valeurs mesurées et les valeurs de simulation



Encore une fois, toutes nos mesures sont en dessous des 10% d'écarts relatifs, ce qui est très convaincant. Nous pouvons alors affirmer que le correcteur RIAA est fonctionnel. De plus, nous pouvons remarquer que les écarts relatifs baissent légèrement après les 1 000 Hz. Cela vient du fait que nous avons re-calibré notre oscilloscope à partir de 1 000 Hz car les mesures devenaient trop imprécises.

Cependant, nous avons une donnée du constructeur qui nous indique que la différence entre les valeurs mesurées et de simulation ne doit pas excéder les 0,5 dB. Ici, nous allons souvent au-delà des 1 dB de différence. Cela peut être dû aux conditions des tests (en circuit fermé) qui sont différentes des conditions réelles d'utilisation du pré-ampli.

De plus, nous pouvons remarquer que nos mesures sont toujours plus proche des valeurs purement théoriques que des valeurs de simulation. Nous pouvons donc déduire que le

simulateur a des limites de précision en ce qui concerne la description de notre pré-ampli. Cette remarque est valable pour toute cette partie de comparaison. En effet, la simulation nous donnera seulement un ordre d'idée en ce qui concerne la comparaison, mais ne nous donnera jamais de valeurs concrètes.

Finalement, regardons ce qu'il se passe au niveau de l'amplificateur lorsqu'il est isolé. Pour ces mesures, deux choix étaient possibles. En effet, le pré-amplificateur dispose de deux modes (changeables avec un bouton) : le premier permet, selon le manuel, de multiplier la tension du signal de 3.1, ce qui correspond à 9.8dB. Le deuxième permet de la multiplier par 1.15, soit 1.2dB. Voici alors nos mesures pour les deux modes :

<b>SW3 Ouvert (X 3,1)</b>	<b>Rapport</b>	<b>Gain</b>
Experimentale	3,1	9,827233877
Simulation	3,26	10,264352
Ecart relatifs	4,91%	4,26%
<b>SW3 Fermé (X 1,15)</b>	<b>Rapport</b>	<b>Gain</b>
Experimentale	1,19	1,510939228
Simulation	1,18	1,437640146
Ecart relatifs	0,85%	5,10%

Encore une fois nos mesures sont en accord avec les données de la simulation. Rien ne nous indique que les lampes dysfonctionnent. Nous pouvons alors affirmer que notre étage d'amplification est opérationnel.

En conclusion, après avoir comparé nos mesures aux valeurs de simulation, nous constatons que notre préamplificateur à lampes fonctionne globalement comme prévu. La majorité des écarts relatifs sont inférieurs à 10%, indiquant une bonne précision des résultats. Bien que des exceptions soient présentes, comme l'écart du Heater dû à une absence de lampes sur leur socle, elles ne compromettent pas le fonctionnement général du dispositif. Les tests approfondis confirment la fonctionnalité du correcteur RIAA et de l'étage d'amplification, validant ainsi notre conception et notre montage. Nous pouvons donc conclure que notre préamplificateur à lampes est opérationnel et conforme aux attentes théoriques.

## 6. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

### 6.1. Conclusions sur le travail réalisé

Le projet de réalisation d'un pré-ampli à lampes nous a finalement apporté des compétences variées. Nous avons premièrement étudié un système complexe comprenant un circuit électrique en plusieurs parties. L'apprentissage de la soudure et une certaine rigueur a été nécessaire afin de construire notre pré-ampli. Enfin, il nous a fallu prendre en main les outils nécessaires à la prise de mesures afin d'effectuer nos tests. Finalement, nous avons mis en œuvre différentes connaissances acquises au long de nos années STPI.

L'objectif du projet était d'obtenir un pré-ampli totalement fonctionnel et en raccord avec les indications constructeurs et la simulation du projet parallèle de simulation. Au final, la plupart de nos tests concordent avec les prévisions de la simulation. Cela nous permet de dire que notre pré-ampli est fonctionnel et que notre travail de montage est une réussite.

Enfin, comme tout projet, ce dernier nous a permis de consolider notre approche méthodologique du travail de groupe. Étant assez nombreux, nous avons dû nous séparer les tâches et nous concerter très souvent afin d'avancer efficacement.

### 6.2. Conclusions sur l'apport personnel de cet E.C. projet

Louis : J'ai déjà eu l'occasion de mener des projets d'électroniques de mon côté. Cependant, ce projet m'a particulièrement marqué. En effet, j'ai pu découvrir le fonctionnement d'un pré-ampli à lampes à travers plusieurs sessions de montages et de tests que je ne connaissais pas. Ces découvertes, accompagné d'un groupe de travail agréable et investi, m'ont donné envie de mener d'autres projets de la sorte.

Quynh Chi : J'ai trouvé ce projet intéressant, car j'ai toujours aimé la musique. Être actrice du processus de fabrication d'un pré-ampli m'a permis de me sentir utile et impliquée dans un projet concret. Grâce à ce projet, j'ai appris à travailler efficacement en groupe avec mes collègues. En plus d'avoir acquis des compétences en soudage, j'ai pu comprendre l'étape de fabrication d'un système électronique en général. Enfin, je tiens à remercier mes coéquipiers, qui m'ont aidée à mieux comprendre ce projet, malgré mes compétences linguistiques limitées.

Garance : N'étant pas vraiment à l'aise avec l'étude de circuits électriques avant ce projet, j'ai pu m'y confronter directement. La réalisation directe et concrète du pré-ampli, en plus d'être très intéressante en elle-même, a donc été très instructive à ce sujet. De plus, étant musicienne mais n'utilisant pas d'amplification du son, j'ai pu être introduite à ce domaine très intéressant majoritairement utilisé chez les musiques actuelles.

Simon : Je ne m'étais jamais réellement intéressé à l'électronique avant ce projet. Mais le fait qu'il soit appliqué à la musique m'a motivé à découvrir ce domaine et à m'investir pleinement dans la réalisation de ce préamplificateur à lampes. Pouvoir travailler en équipe et comprendre comment on amplifie un signal à partir de lampes, apprendre à souder, assembler et tester ce genre de dispositif était une expérience stimulante et enrichissante.

Anton : Grâce à ce projet, j'ai pu découvrir le fonctionnement d'un outil du quotidien dont je ne connaissais pas bien l'utilité, ainsi que ses applications en détail. J'ai aussi appris, et approfondi, des compétences nécessaires à tout ingénieur tel que le soudage, la réalisation de mesures sur la carte, ainsi que l'étude des valeurs expérimentales et le travail d'équipe.

Enzo : Même si j'ai rejoint ce projet alors que celui-ci avait déjà débuté, j'ai pu m'adapter à ce changement de projet et acquérir des connaissances enrichissantes en électronique, ainsi que mieux comprendre le fonctionnement d'un préamplificateur à lampe. En plus de cela, j'ai pu commencer à acquérir un certain nombre de compétences nécessaires au métier d'ingénieur, notamment la répartition du travail, le travail d'équipe, l'autonomie mais également l'adaptabilité.

## 7. BIBLIOGRAPHIE

Ces liens internet constituent l'ensemble de nos recherches afin de comprendre le fonctionnement d'un pré-ampli à lampes:

<http://siyh.byethost11.com/LampesVsTransistors1?i=3> (valide à la date du 07/06/2024)

<https://www.zikinf.com/articles/home-studio/preamplis.php> (valide à la date du 07/06/2024)

<https://www.hguitare.com/communaute/blog/materiel/ampli-a-lampe> (valide à la date du 07/06/2024)

<https://reverb.com/fr/news/le-guide-technique-la-vie-secrete-des-lampes-de-preampli> (valide à la date du 07/06/2024)

<https://www.on-mag.fr/index.php/topaudio/actualites-news/18195-preamplificateur-phonoriaa-comment-ca-marche-et-comment-choisir-oui-on-fait-toujours-le-meme-titre> (valide à la date du 07/06/2024)

<https://www.noir-et-blanc.com/vinyle/accessoires-vinyle/preamplificateurs-phonos.html> (valide à la date du 07/06/2024)

<https://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/electro/triodevide.html> (valide à la date du 07/06/2024)

[https://electronique-et-informatique.fr/Electronique-et-Informatique/Triodes\\_Tubes\\_Electroniques.php](https://electronique-et-informatique.fr/Electronique-et-Informatique/Triodes_Tubes_Electroniques.php) (valide à la date du 07/06/2024)

<https://frank.pocnet.net/sheetsE.html> (valide à la date du 07/06/2024)

[https://youtu.be/bRGRYZX\\_AT4?si=-P3bcaYfX9-sQdJT](https://youtu.be/bRGRYZX_AT4?si=-P3bcaYfX9-sQdJT) (valide à la date du 07/06/2024)

<https://youtu.be/ySKMoc2WM48?si=0eSAEB2XdwFr9Nvk> (valide à la date du 07/06/2024)

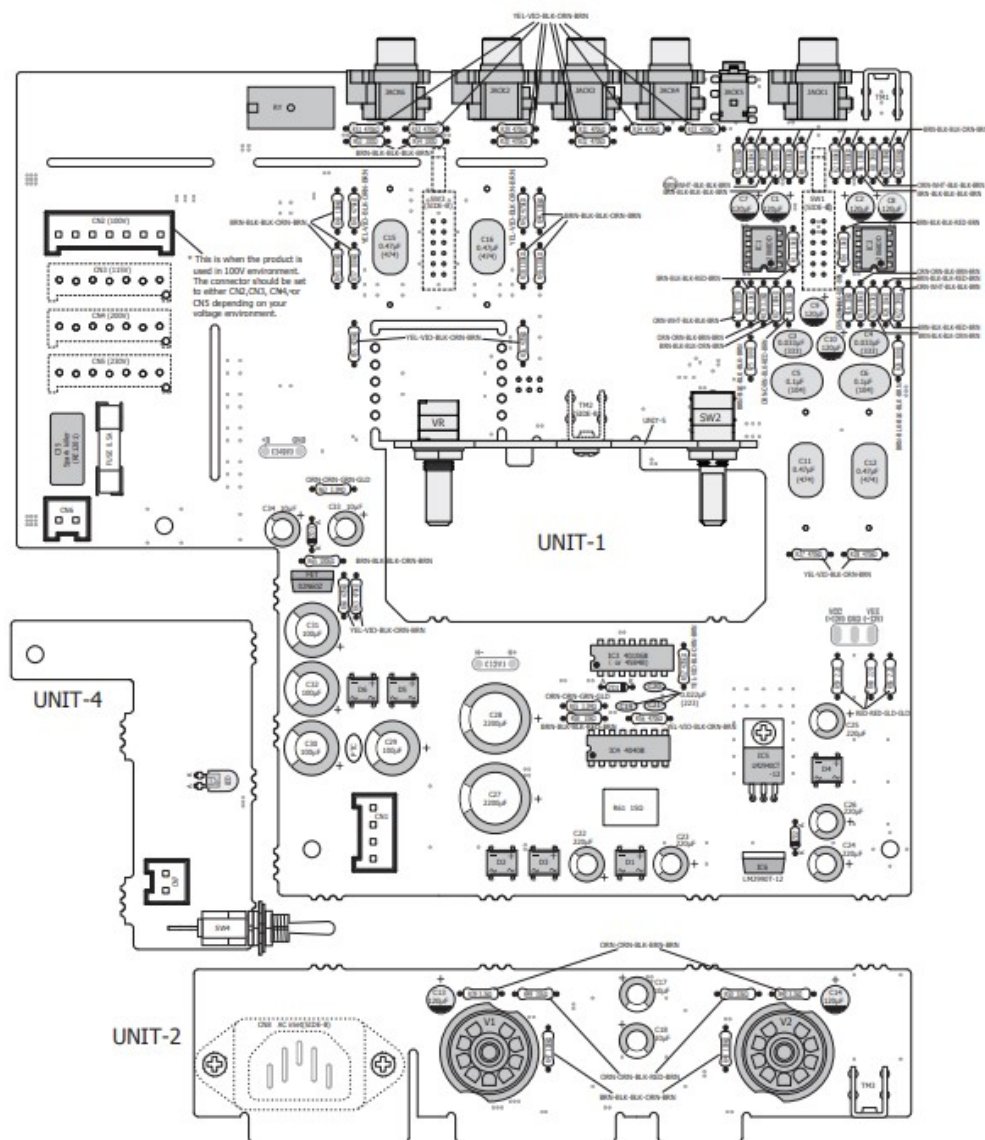
<https://youtu.be/9Lkh1rttZ5s?si=D1eJzIQtS8i7RZ7L> (valide à la date du 07/06/2024)

<https://youtu.be/-Gj-B6T1xKg?si=aKPYkJNzRCB7nTse> (valide à la date du 07/06/2024)



## 8. ANNEXES

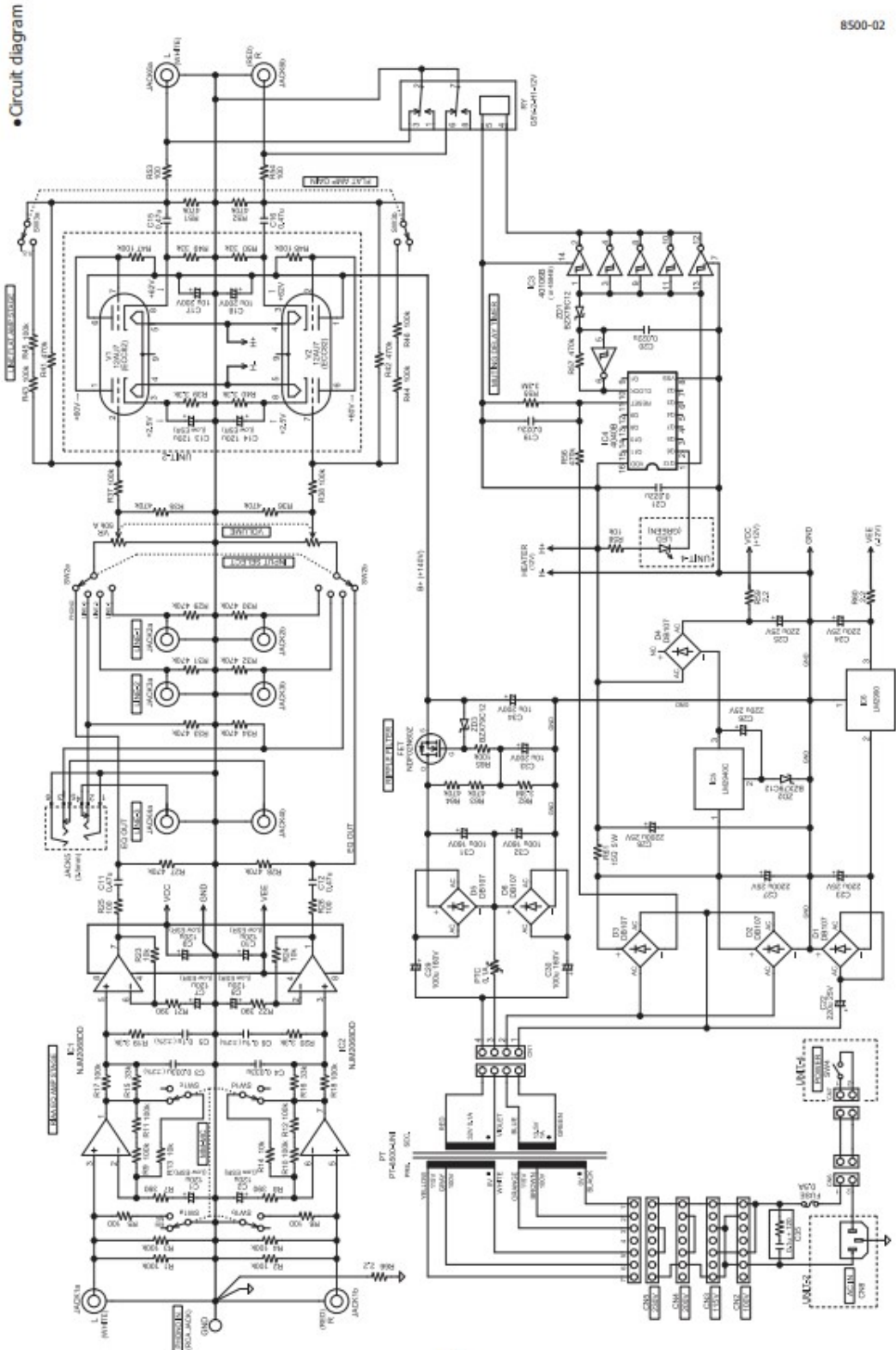
### 8.1. Plan de conception



Annexe 1 : plan de soudure des composants



8.2. Schéma de montage



Annexe 2: Schéma du circuit du pré-ampli