

Rapport Projet d'électronique analogique

Zakaria TBER
Alexis TREILLES

Avril 2023



Encadrante :
CAPITaine Armande

1 Introduction

Ce projet a pour but l'élaboration d'un amplificateur audio, capable de recevoir en entrée un signal audio et en sortie ce même signal amplifié. Pour procéder à la fabrication de cette carte, le logiciel Proteus a été utilisé pour faire le schéma électrique et le layout du circuit imprimé.

2 Cahier des charges

On dispose d'un amplificateur audio qui doit alimenter un haut-parleur d'impédance 8 ohms en sortie. La source des signaux audiofréquences fournit une tension efficace de l'ordre de 100 mVeff. La bande passante de l'amplificateur est de 40 hz à 15 khz. Afin de couper toute composante continue en entrée, un circuit passe-haut sera monté en entrée. L'impédance d'entrée de l'amplificateur sera de 47 kohms et l'alimentation continue sera de $\pm 15V$.

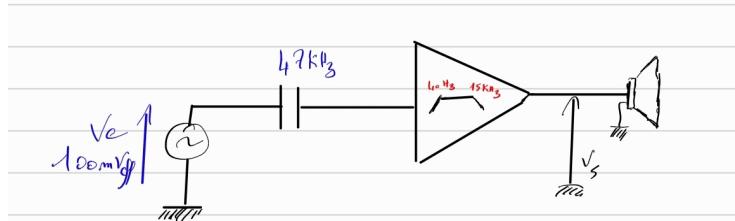


Figure 1: Schéma global de l'amplificateur audio
g

-Filtre passe haut :

$$C = 100\mu F$$

$$R = 47K\Omega$$

-Puissance utile maximale :

$$P = \frac{U_{eff}^2}{R} = \frac{U^2}{2 * R} = \frac{12^2}{2 * 8} = 9W \quad (1)$$

-Courant crête à crête :

$$P = \frac{P_{max}}{V_{smax}} = \frac{V_{smax}}{R_s} = \frac{12}{8} = 1,5A \quad (2)$$

-Amplification en tension globale :

$$A = \frac{V_s}{V_e} = \frac{12}{0.1 * \sqrt{2}} = 84.85 \quad (3)$$

Puisque la composante continue a une fréquence nulle, et cette fréquence n'est pas audible, il est souhaitable de couper la composante continue au signal d'entrée.

2.1 Architecture

L'amplificateur audio est composé de deux étages : un étage de sortie de puissance type "Push-Pull", et un étage de commande "driver" servant d'amplificateur de tension qui attaquaera le push-pull de sortie.

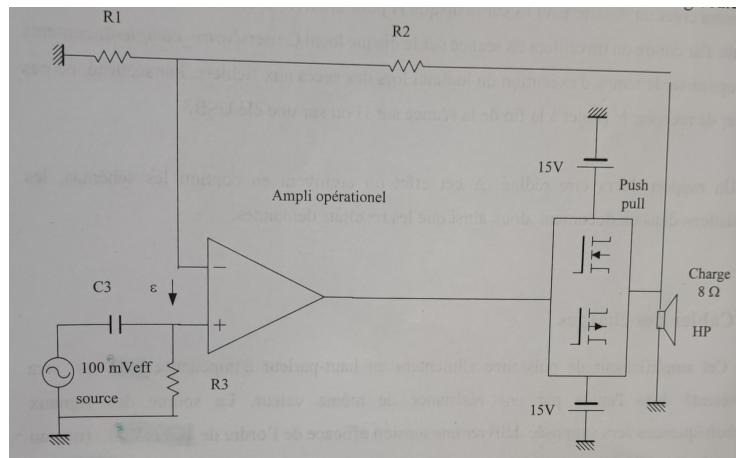
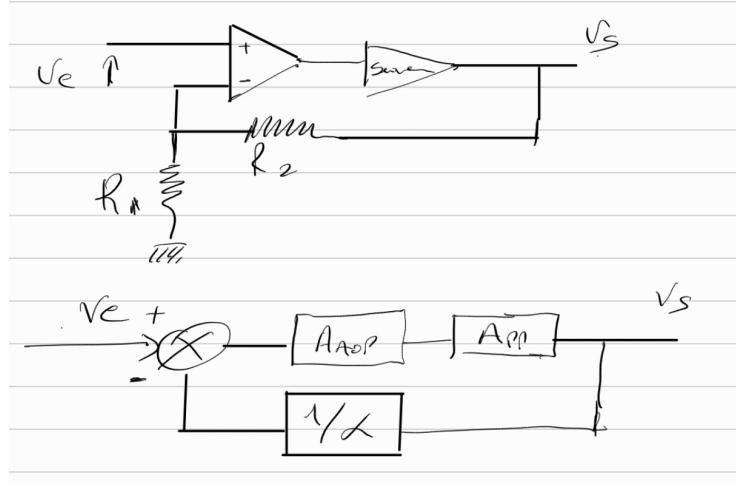


Figure 2: Architecture de l'amplificateur audio

On effectue une contre-réaction pour garder le caractère linéaire de l'amplificateur opérationnel. Cette contre-réaction est choisie globale pour ne pas prendre en

compte l'amplification du circuit suiveur.



$$V_s = App \times Aop \left(V_e - \frac{V_s}{\alpha} \right)$$

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{1}{\frac{1}{Aop \times App} + \frac{1}{\alpha}} \quad (4)$$

2.2 Etude du circuit

2.2.1 MOSFET Canal N

Caractéristique de transfert

La tension de seuil V_t est : $V_t = 2.16 \text{ V}$

-Pour $I_d = 0.5 \text{ A}$:

$$gm = \frac{\partial I_d}{\partial v_{gs}} = 85$$

$$V_{GS0} = 2.37 \text{ V}$$

-Pour $I_d = 1.5 \text{ A}$:

$$\begin{aligned} V_{OD} &= V_s - V_t \\ &= 2.3 - 2.16 \\ V_{OD} &= 0.41 \text{ V} \end{aligned}$$

Puisque $V_{OD} < V_{ds}$, on est bien dans la zone de saturation.

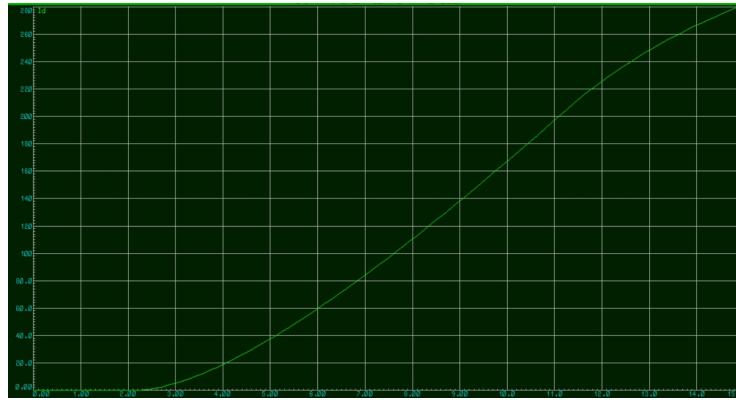


Figure 3: Courbe ID(VGS)

Caractéristique de sortie

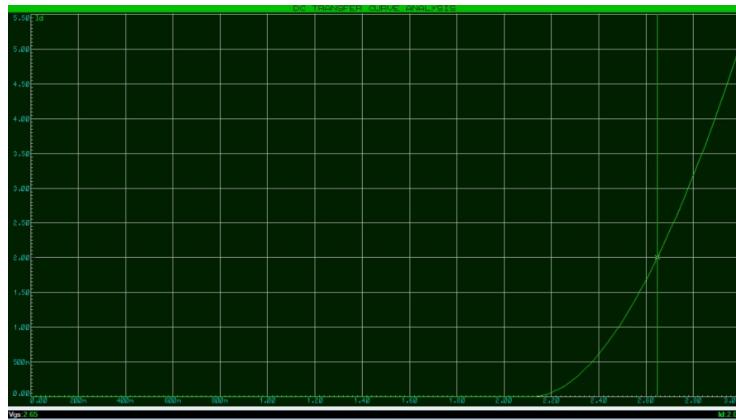


Figure 4: Courbe ID(VDS)

$$V_{DSS} = 0.25V$$

$$R_{DS(on)} = 0.3\Omega$$

2.2.2 Circuit Push Pull "primitif"

Le circuit Push Pull est un circuit suiveur de tension mais avec une distorsion de croisement qui est due aux tensions de seuil des transistors NMOS et PMOS.

Ce circuit possède trois modes de fonctionnement : une zone où la tension de sortie est nulle entre V_{tn} et V_{tp} lorsque les deux transistors sont bloqués, un mode suiveur de tension avec un décalage de V_{tn} lorsque le NMOS est saturé et que le PMOS est bloqué ($V_{out} = V_{in} - V_{tn}$) pour $V_{tn} < V_{in} < V_{cc} + V_{tn}$, et un autre mode suiveur de tension avec un décalage de V_{tp} lorsque le PMOS est saturé et que le NMOS est bloqué ($V_{out} = V_{in} + V_{tp}$) pour $V_{tp} - V_{cc} < V_{in} < V_{tp}$. Enfin lorsque le NMOS est bloqué et le PMOS en régime linéaire, ou bien l'inverse, la tension de sortie est constante $\pm V_{cc}$.



Figure 5: Caractéristique de transfert $V_{out}(V_{in})$

La largeur de la zone de blocage du push-pull est : $\Delta = 4.54V$

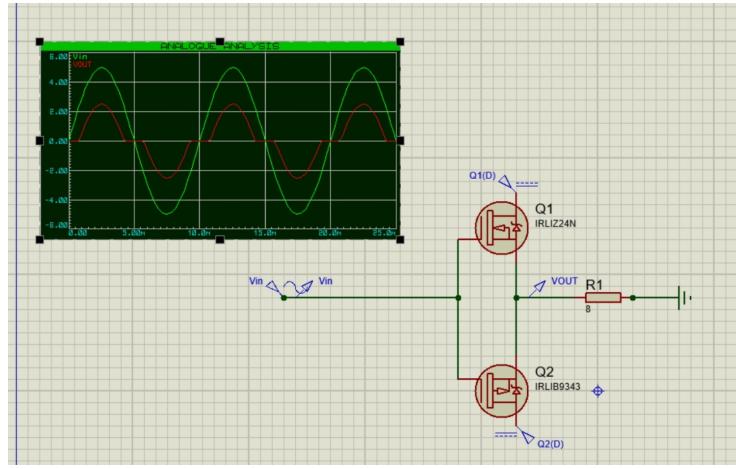


Figure 6: Schéma électrique et Courbe temporelle de V_{out} et V_{in}

Le circuit push pull a une tension de sortie avec une allure similaire à la tension d'entrée mais avec une distortion de croisement, qui est présente lorsque $V_{tp} < V_{in} < V_{tn}$.

2.2.3 Elimination de la distortion de croisement

Pour diminuer la distorsion de croisement, il faut procéder à la polarisation des transistors lorsque V_{in} est proche de 0. Pour réaliser cette polarisation il faut appliquer une tension continue sur les grilles. Dans ce cas une combinaison de diodes PN et zener assure cette fonction.

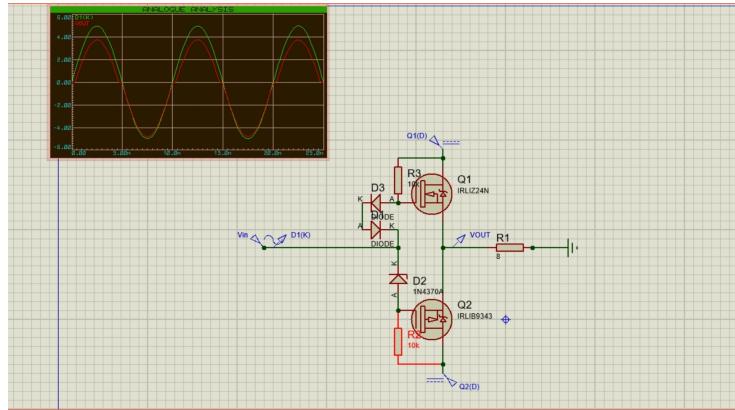


Figure 7: Schéma électrique et Courbe temporelle de V_{out} et V_{in}

La distortion de croisement diminue fortement.

-Impédance d'entrée

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}}$$

$$Z_{in} = 5k\Omega$$

3 Mesures effectuées lors de la séance de TP

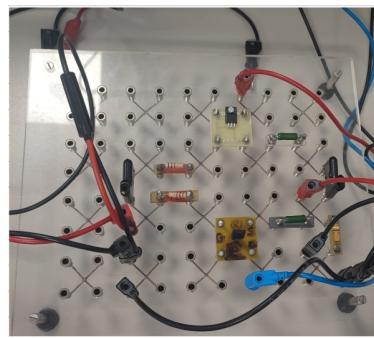


Figure 8: Montage effectué lors de la séance de TP

On a monté les deux parties du circuit comme indiqué dans la figure ci-dessus afin d'effectuer les différentes mesures avant la fabrication de la carte.

On mesure la distortion de croisement avant l'introduction des diodes, pour améliorer la linéarité.



Figure 9: Distortion de croisement

Mesure de la distortion de croisement $|V_{tn}| + |V_{tp}| = 3.7V$

3.1 Amélioration de la linéarité

-Etude de la polarisation

On utilisant la lois des mailles on trouve :

$$V_{G1G2} = 2.4 + 0.7 + 0.7 = 3.8V$$

Cette tension est assez proche de la tension $|V_{tn}| + |V_{tp}| = 3.7V$, donc cette polarisation est bonne.

On remarque qu'avec la solution proposée, d'ajouter des diodes, la distorsion de croisement est presque éliminée, et on retrouve la linéarité.

Cette courbe temporelle de la tension de sortie, nous montre que la distorsion de croisement existe toujours, mais elle est moins visible, donc le signal n'apparaît pas déformé.

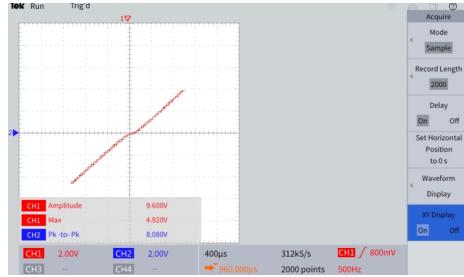
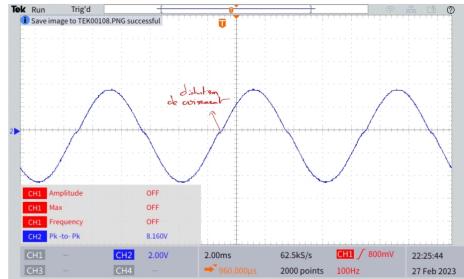


Figure 10: Distortion de croisement améliorée



4 Fabrication de la carte

4.1 Routage

Une fois le schéma électrique validé et testé en simulation, on procède à l'étape du routage, qui consiste à relier les composants entre eux à l'aide de pistes de différentes largeurs, dans notre cas on a utilisé du T15 pour les pistes à faible courant et du T30 pour les pistes à fort courant. Cependant, lorsqu'on relie les composants entre eux, les pistes ne doivent pas se croiser, car cela peut former un court-circuit, donc on utilise deux couches, supérieur et inférieur.

4.1.1 Exportation du fichier des tracés des pistes et du fichier pour les trous

Après avoir réalisé une simulation finale de l'ensemble de la carte pour s'assurer de son fonctionnement on peut exporter les fichiers nécessaires à la fabrication de la carte. Un fichier qui permet de définir le tracé des pistes et un qui définit l'emplacement des trous qui sera ensuite interprété par la fraiseuse à commande numérique.

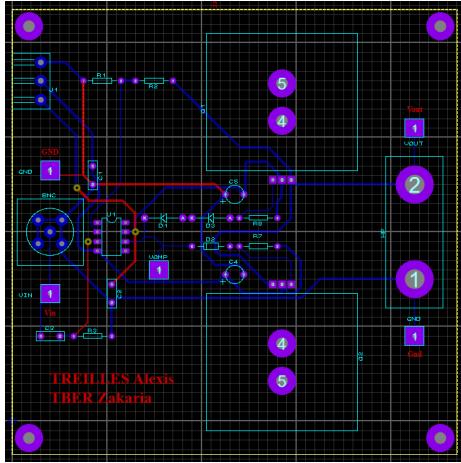


Figure 11: Routage de la carte électronique

4.1.2 Impréssion du tracé des pistes

L'opération permettant la création des pistes sur la carte va s'effectuer par retraite de la matière conductrice laissant apparaître uniquement les pistes souhaitées. Pour cela on utilise des ultra-violets(Figure 10). Il suffit donc de couvrir les pistes pour conserver le conducteur. Pour cela on va simplement imprimer le tracé des pistes sur un calque transparent, appelé typhon à l'aide d'une imprimante classique.

4.1.3 Persage des trous

On commence la création de la carte par le perçage des différents trous qui vont accueillir les pattes des composants traversants, les via ainsi que les différentes vis. Cette étape est réalisée à l'aide d'une fraiseuse numérique(Figure 9). Elle peut aussi être réaliser à l'aide d'une perceuse à colonne, mais dans ce cas les trous sont réalisés après la création des pistes afin de définir la position des trous à percer.



Figure 12: Machine CNC de persage

4.1.4 Impréssion des pistes sur la carte

Dans un premier temps on aligne le typhon sur les trous préalablement percés, ensuite on passe la carte aux ultra-violets pour retirer la résine protégeant le cuivre, cette opération dure une minute et demie. On plonge ensuite la carte dans un bain de chlorure(Figure 11) qui retirera donc la matière qui n'est plus protégée par la résine qui était elle-même protégée des ultra-violets par le typhon.



Figure 13: Lampes UV

Les ultra violet permettent de retirer la résine qui protège le cuivre. La partie de la carte exposée aux lumières UV est celle non recouverte par le tracé de nos pistes.



Figure 14: Solution de perclhorure de sodium



Figure 15: Passage de la carte dans l'acide

Figure 16: Solution de perclhorure pour enlever la fine couche de cuivre n'étant plus protégée par la résine.

4.1.5 Vérification de la carte

On vérifie la continuité de toutes les pistes de la carte afin d'éviter tous les problèmes qui peuvent en découler, on regarde aussi qu'il n'y ait pas de continuité entre 2 pistes voisines qui amenerait potentiellement à un court-circuit. On soude ensuite les composants sur la carte à leurs emplacements en s'aidant des schémas réalisés sur l'ordinateur. En pratique on ne réalise pas une soudure mais une brasure, car on apporte de la matière aux 2 pièces à souder, en l'occurrence de l'étain. on réalise cette opération à 380°C.

4.2 Test de la carte

4.2.1 Test à courant réduit

Dans un premier temps, on connecte la carte avec des limites de courant sur les générateurs afin de s'assurer du bon fonctionnement du circuit.

4.2.2 Test en condition de fonctionnement

Après s'être assuré du bon fonctionnement à courant réduit, on enlève les limitations de courant et on connecte la charge.

4.3 Mesures et validation du cahier des charges

4.3.1 Tension moyenne de sortie

La tension moyenne de sortie est presque nulle.

4.3.2 Amplification et bande passante

Avec un signal sinusoïdal de 100mV crête à crête en entrée on obtient en sortie un signal crête à crête de 8,42 V. on a donc l'amplification :

$$\frac{V_{\text{OUT}}}{V_{\text{IN}}} = \frac{8,42}{0,1} = 84,2V$$

On mesure ensuite la bande passante à -3dB grâce à la méthode des 5 carreaux, on obtient :

$$F_{\min} = 35Hz$$
$$F_{\max} = 25,7KHz$$

4.3.3 Ecrêtage

On augmente l'amplitude de Vin jusqu'à obtenir l'écrêtage, dans notre cas on observe l'écrêtage pour Vin= 245mV

On relève une tension d'écrêtage à 8,4V
on calcule donc la puissance de sortie

$$P_{\max} = \frac{V_{\text{OUT}}^2}{R} = \frac{8,4^2}{8} = 8,82W$$

4.3.4 Slew Rate

On met en entrée un signal carré, on va mesurer le temps que met la sortie à passer du seuil haut au seuil bas. Dans notre cas, on a un seuil de 4,4V en sortie et le signal met 2,6μs pour passer ce seuil. on a donc :

$$SlewRate = \frac{4,4}{2,8 * 10^{-6}} = 1,5 * 10^6 V/s$$

4.3.5 Linéarité de l'amplificateur

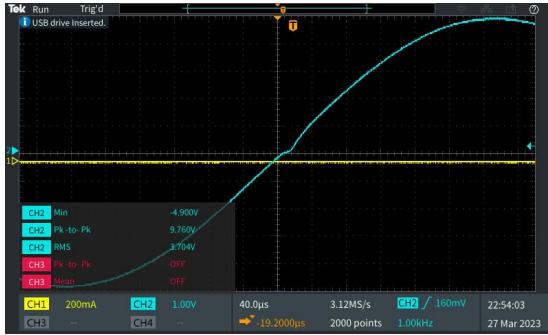


Figure 17: Observation de la distortion de croisement

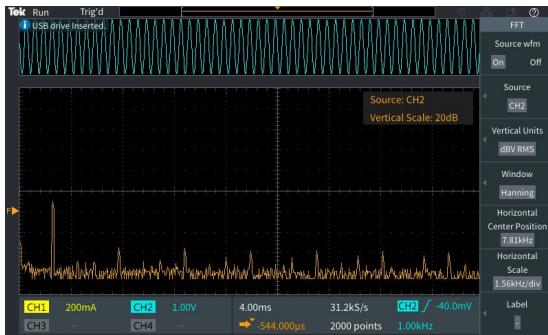


Figure 18: FFT de Vout

4.3.6 Calcul de la distortion de croisement

$$\sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} 10^{\left(\frac{V_{sifff}[dBV] - V_{s1eff}[dBV]}{10}\right)}}$$

si l'on calcule d'après notre relevé on obtient :

$$Dht = 35\%$$

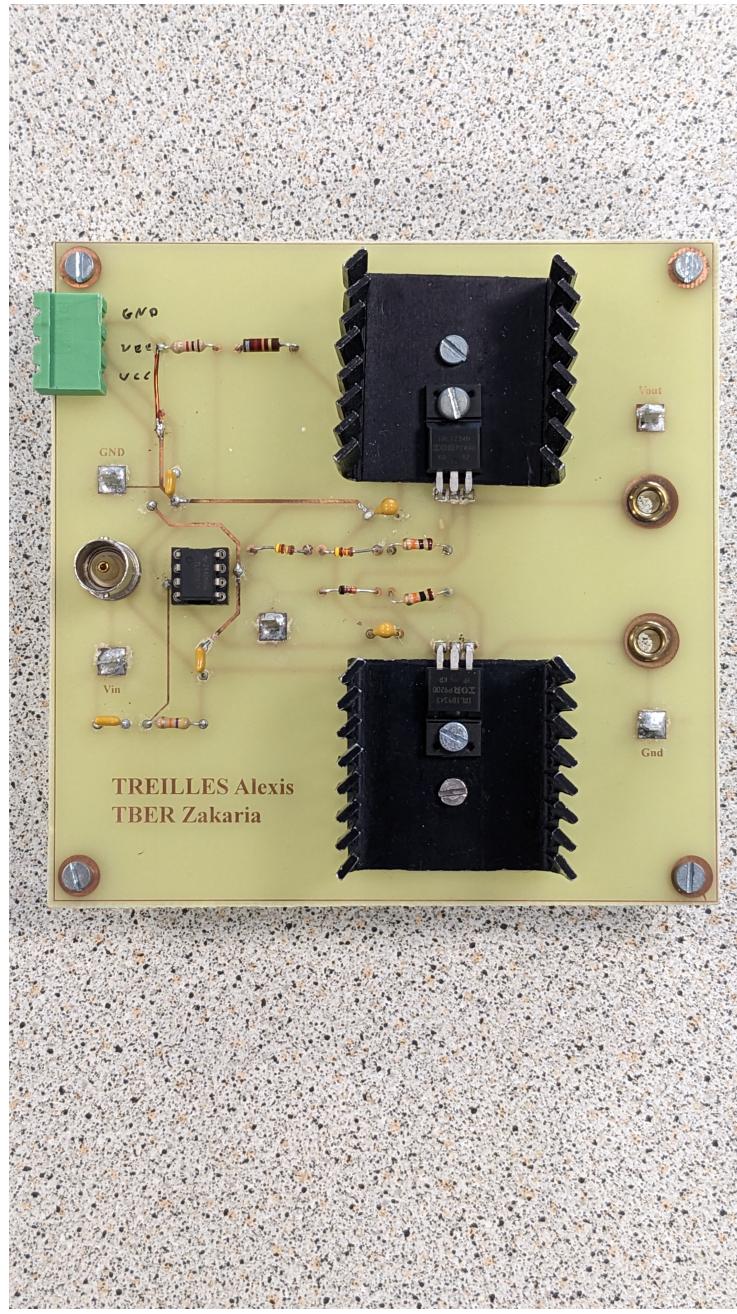


Figure 19: Carte terminée

5 Difficultés rencontrées

Dans notre cas, nous avons rencontré une difficulté au niveau de la polarité des condensateurs de découplage des deux transistors du push-pull qui étaient positionnés à l'envers. Nous les avons montés en suivant notre schéma, seulement la simulation ne tenait pas compte de la polarité des condensateurs, donc ils étaient placés à l'envers. Nous avons également eu une piste qui est partie et que nous avons dû remplacer par un fil de cuivre.

6 Conclusion

Ce projet nous a permis de nous familiariser avec le logiciel Proteus ainsi qu'aux procédés de fabrication des cartes. Cela nous a aussi permis de découvrir les problèmes réels ainsi que les différences qu'on peut obtenir par rapport à la simulation.