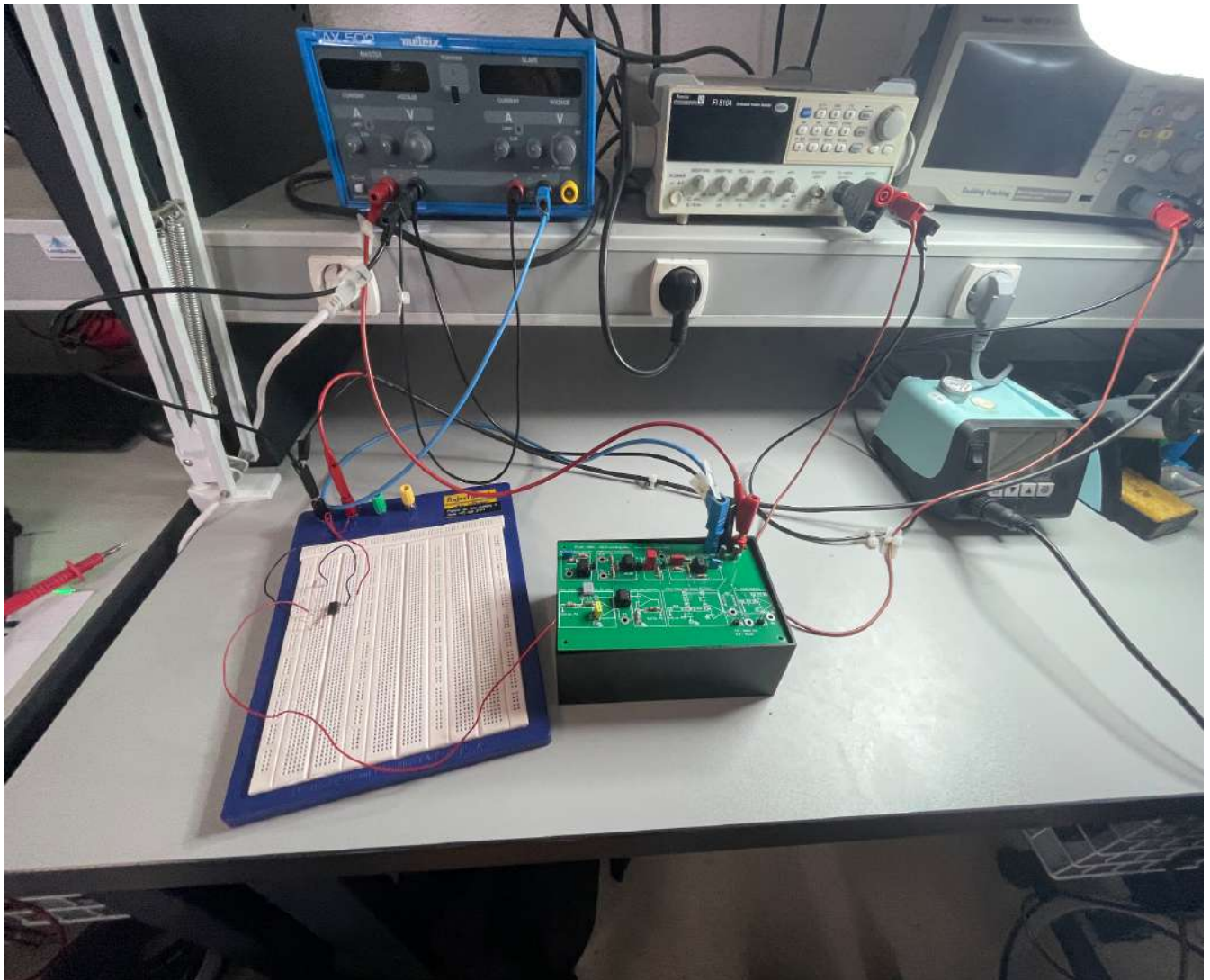


## *Projet L2 : L'électrocardiographie*



# **Table des matières**

<b><i>I) Introduction</i></b>	<b>3</b>
<b><i>II) Conception des blocs</i></b>	<b>4</b>
Bloc 1	3
Bloc 2 : Réjecteur de bande	5
Bloc 3 : Filtre passe bande	6
Bloc 4 : Amplificateur non-inverseur	7
<b><i>III) Test sur platine</i></b>	<b>9</b>
Bloc 2 : Réjecteur de bande	9
Bloc 3 : Filtre passe bande	10
Bloc 4 : Amplificateur non-inverseur	11
<b><i>IV) Routage et Brasage</i></b>	<b>12</b>
<b><i>V) Tests Finaux</i></b>	<b>14</b>
<b><i>VI) Conclusion</i></b>	<b>16</b>

## I) Introduction :

Le cœur joue un rôle essentiel en assurant la circulation sanguine dans tout le corps. Cette fonction de pompe est réalisée par les ventricules, qui se contractent pour expulser le sang dans les artères. La coordination de ces contractions est assurée par le système électrique du cœur, qui prend son origine dans la paroi entre les oreillettes et les ventricules. Les impulsions électriques, dont la fréquence correspond à la fréquence cardiaque, se propagent à travers un réseau de cellules nerveuses pour coordonner l'ensemble du muscle cardiaque.

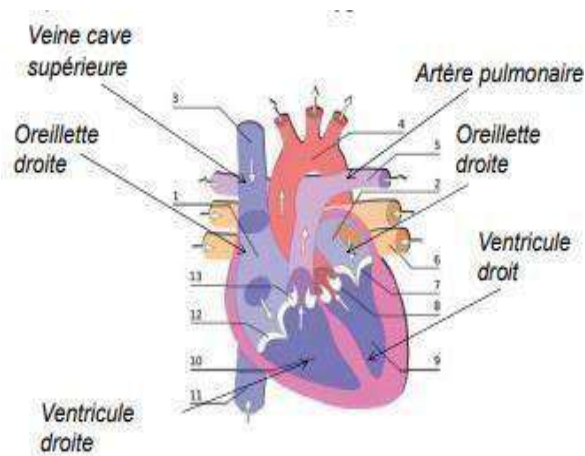


Figure 1 schéma coupe droite cœur

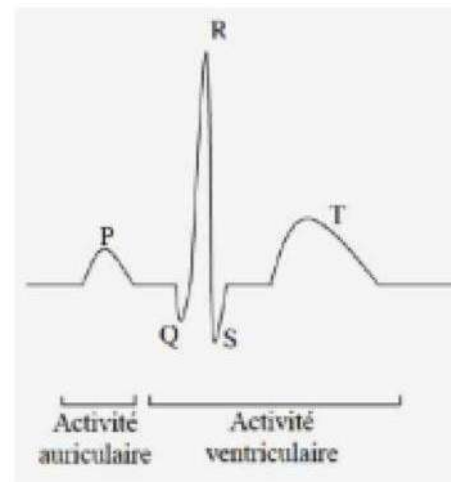


Figure 2 courbe signal électrique cœur

Le signal électrique peut être détecté à l'aide d'un électrocardiogramme (ECG). L'acquisition de l'ECG implique plusieurs sous-systèmes, à savoir la capture, l'amplification, le filtrage, la conversion, le traitement et la sécurité du signal. Dans ce projet, nous nous concentrerons sur les trois premiers sous-systèmes.

Le projet sera réalisé en trois phases :

- La phase de conception, au cours de laquelle nous effectuerons une étude théorique des blocs 1 à 4, que nous testerons ensuite sur une plaquette.
- La phase de réalisation, au cours de laquelle nous procéderons au routage et au brasage de la carte électronique.
- Enfin, la phase de test, au cours de laquelle nous vérifierons si les valeurs mesurées sur notre carte électronique correspondent aux valeurs attendues.

## II) Conception des blocs :

### Bloc 1 :

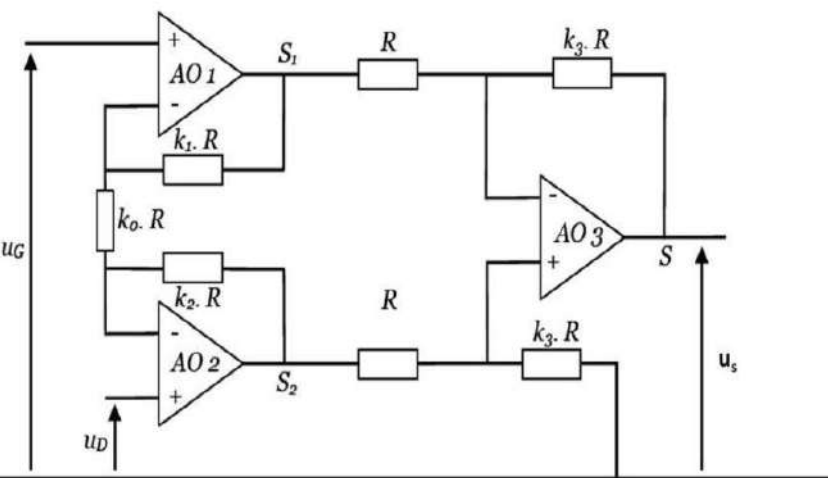


figure 3 : structure du bloc 1

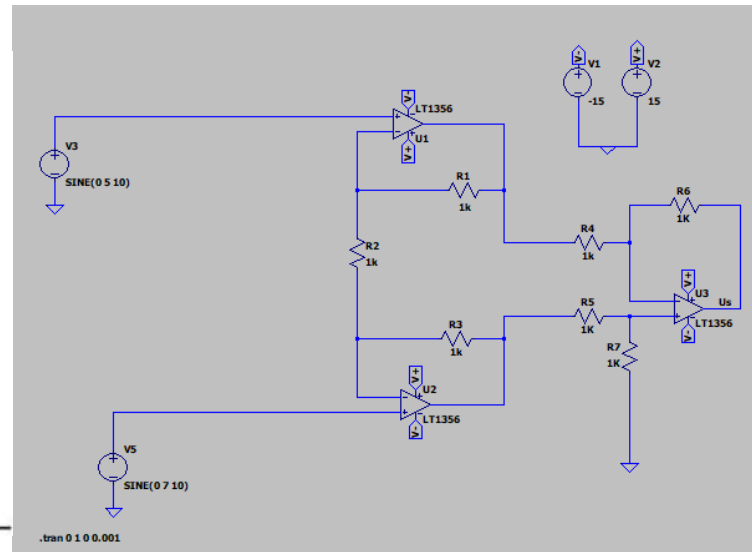


figure 4 : structure du bloc 1 sur LTspice

Le signal que nous utilisons présente diverses composantes, notamment une composante continue résultant du contact de la peau avec les électrodes. Cette composante a une amplitude comprise entre 0 et 300 mV, ce qui est significatif par rapport au signal mesuré ( qui se situe entre 0,5 et 5 mV). Ainsi, le rôle du bloc 1 est d'éliminer cette composante en agissant comme **un réjecteur de mode commun**.

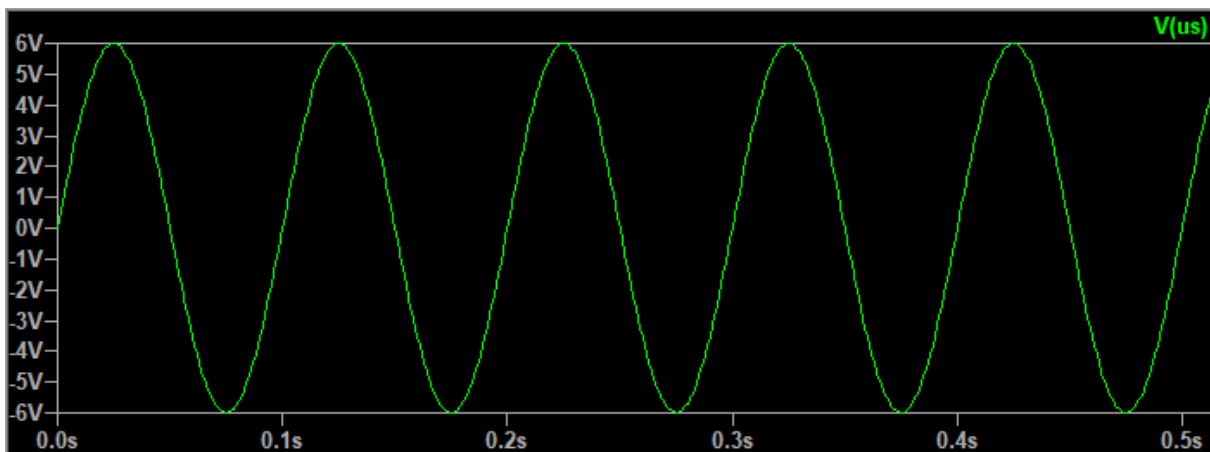


figure 5 : simulation du bloc

## Bloc 2 : Réjecteur de bande.

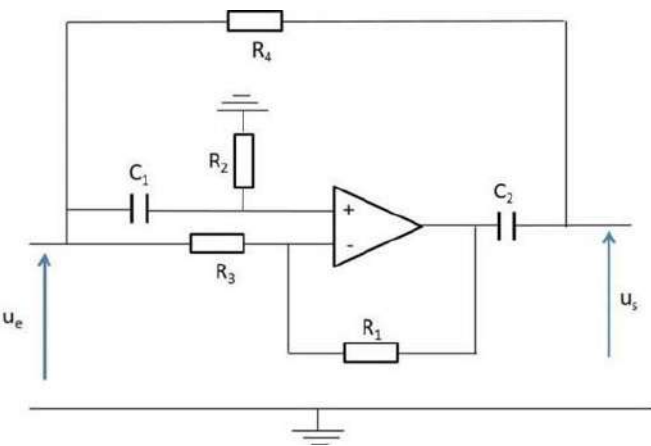


figure 6 : structure du bloc 2

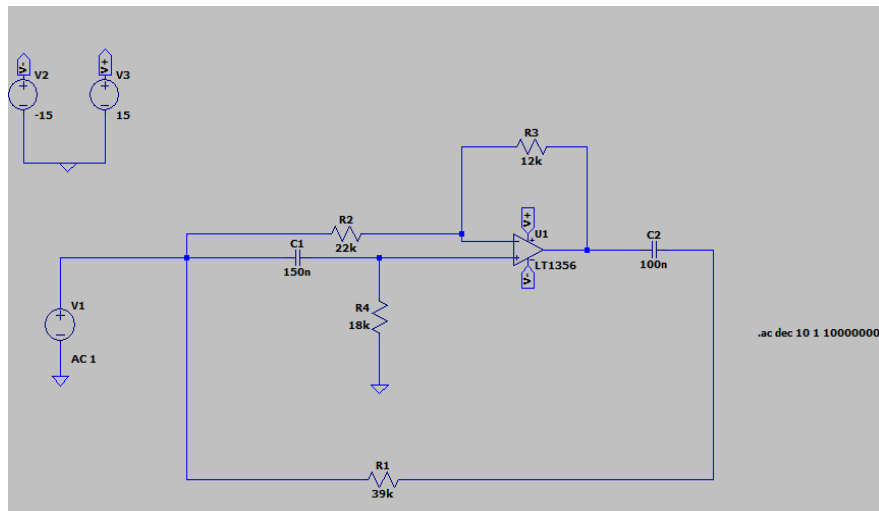


figure 7 : structure du bloc 2 sur LTspice

Une autre composante indésirable est générée par le réseau électrique à **une fréquence de 50 Hz**. Ainsi, le rôle du bloc 2 est de rejeter cette fréquence indésirable. Cela a été observé lors de la simulation LTspice (voir ci-dessous). Selon les valeurs des résistances et des condensateurs, la bande de rejet varie.

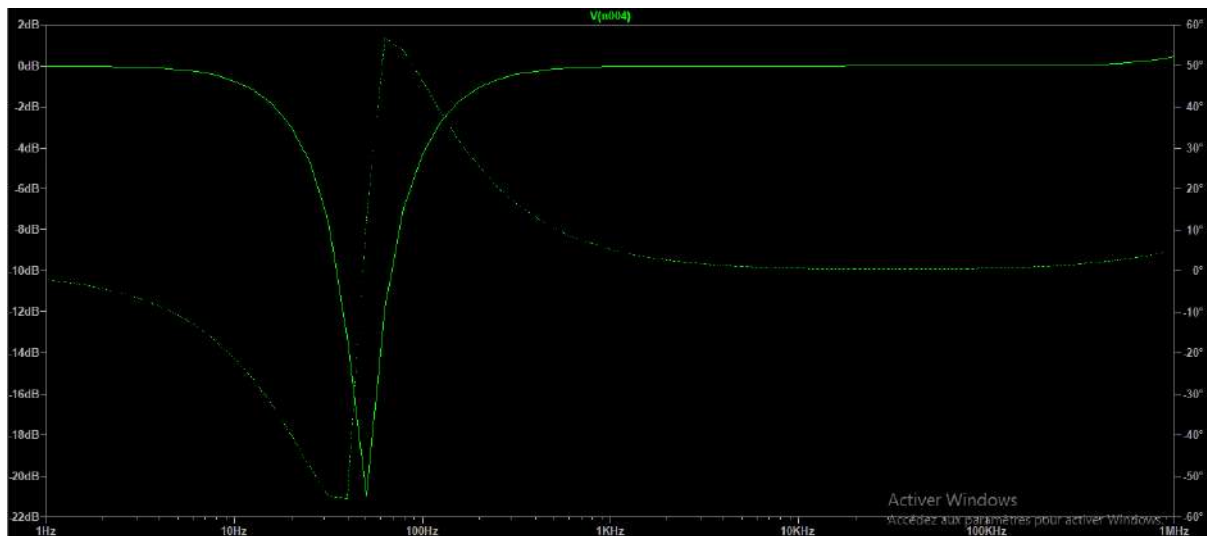


figure 8 : simulation du bloc 2

En combinant les deux blocs précédents, nous sommes en mesure d'éliminer les signaux à basse fréquence, à haute fréquence et la fréquence de 50 Hz provenant du réseau électrique, tout en conservant notre signal utile. Cela nous permet d'obtenir une bande passante  $BP(Hz) = ]-\infty ; -0,1] \cup [150 ; +\infty [$ , tout en préservant les caractéristiques essentielles de notre signal.

### Bloc 3 : Filtre passe-bande :

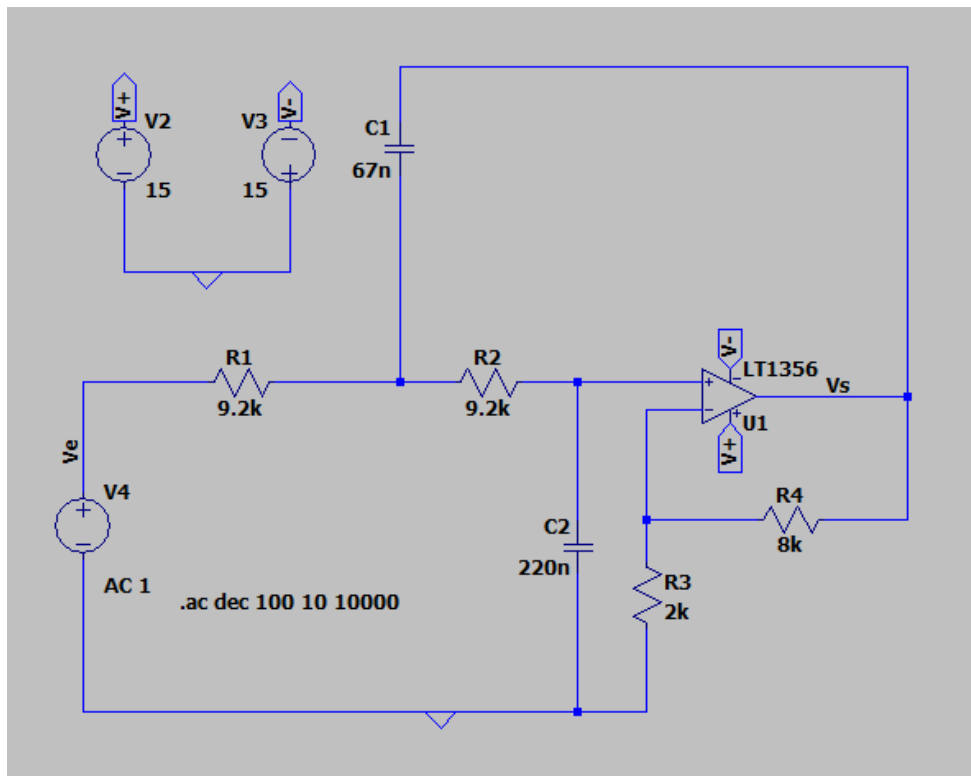


figure 9 : structure du bloc 1 sur LTspice

Conformément aux exigences spécifiées dans le cahier des charges, le bloc 3 doit satisfaire les critères suivants :

- Être un montage non-inverseur.
- Avoir un gain maximal de 14,5 dB dans la bande passante.
- Présenter une fréquence de coupure de 150 Hz, avec une atténuation de 11,5 dB.
- Afficher une atténuation de -17,6 dB à une fréquence de 1 kHz.

Pour répondre à ces exigences, nous avons opté pour une structure de Sallen Key, qui offre la particularité d'être un montage non-inverseur. De plus, nous avons connaissance de la configuration du circuit et des composants, nous devons donc déterminer les valeurs adéquates.

Après des calculs approfondis, nous avons réussi à déterminer les valeurs des composants requises pour construire ce bloc. Suite à une simulation en fréquence, nous avons constaté que le bloc répondait parfaitement à toutes les spécifications du cahier des charges. Cependant, lors des tests ultérieurs du bloc, comme vous pourrez le voir dans la prochaine partie, nous avons rencontré un problème. Cela nous a poussés à ajuster légèrement les valeurs des composants, ce qui a entraîné une satisfaction partielle des conditions plutôt qu'une satisfaction complète, bien que les valeurs se rapprochent de celles attendues (voir figure 8).

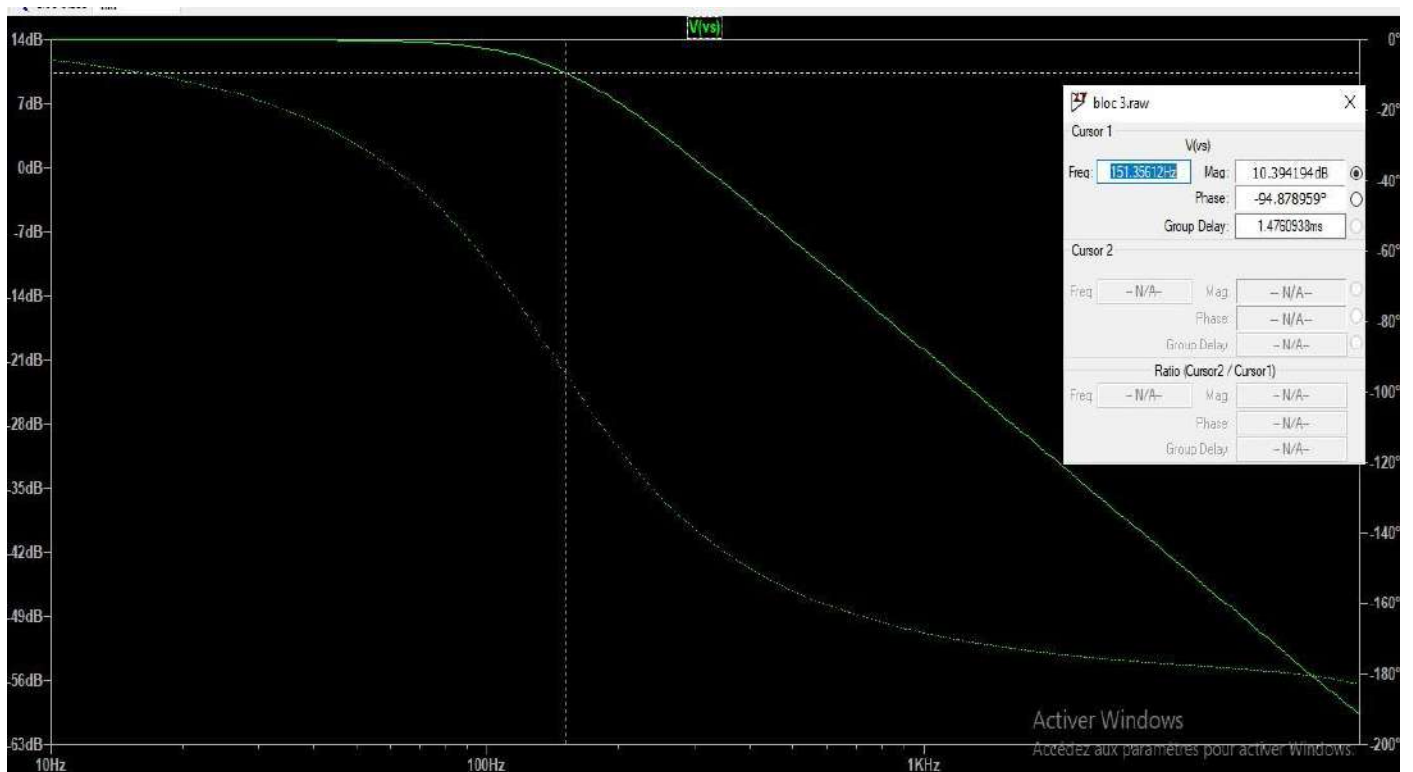


figure 10 : simulation du bloc 3 sur LTspice

## Bloc 4 : Amplificateur non inverseur.

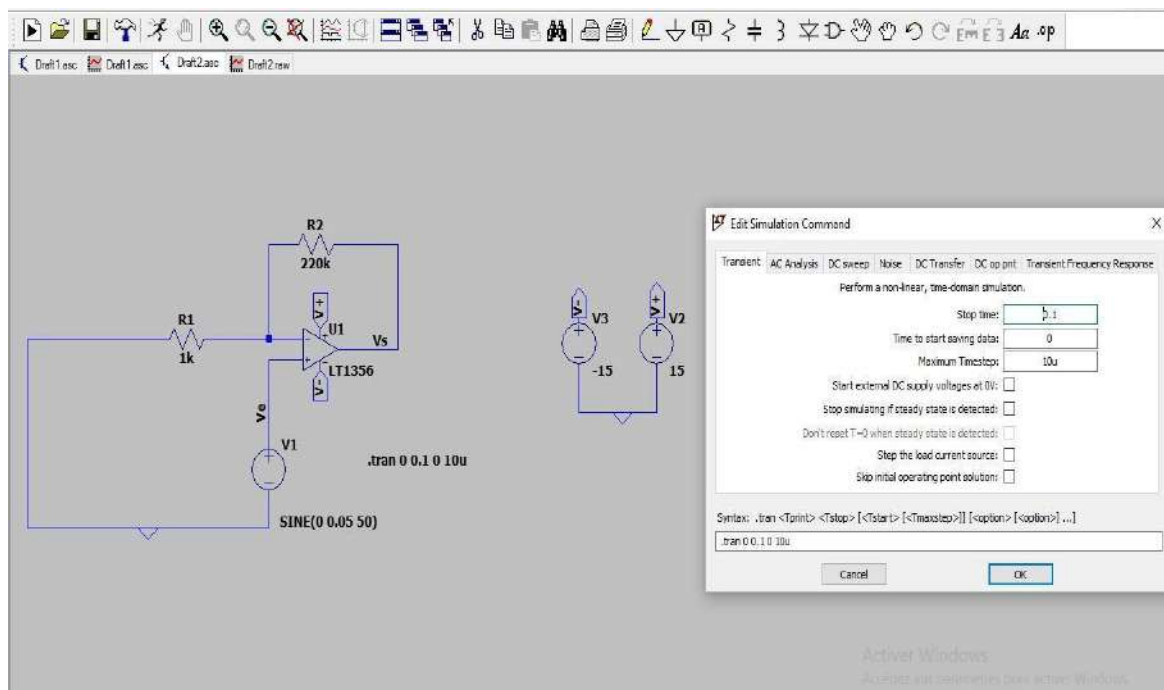
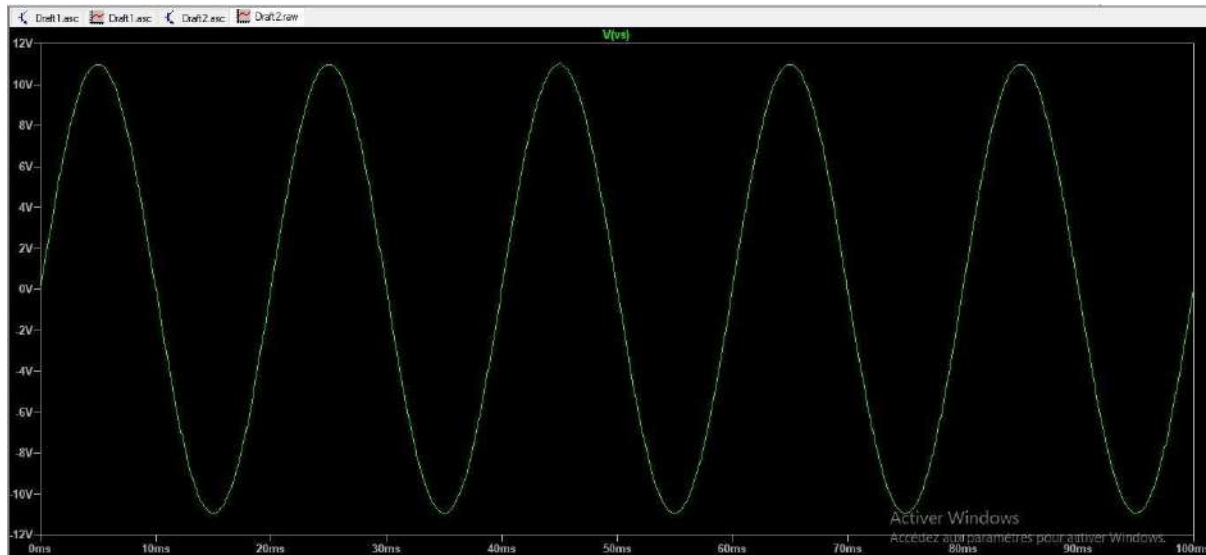


figure 11 : structure du bloc 4 sur LTspice



*figure 12 : simulation du bloc 4 sur LTspice*

Selon les spécifications du cahier des charges, le bloc 4 doit être réalisé sous la forme d'un montage amplificateur non-inverseur avec un facteur d'amplification en tension de 221. Ces valeurs ont été déterminées à partir de l'analyse de la fonction de transfert (cf jalon 2).

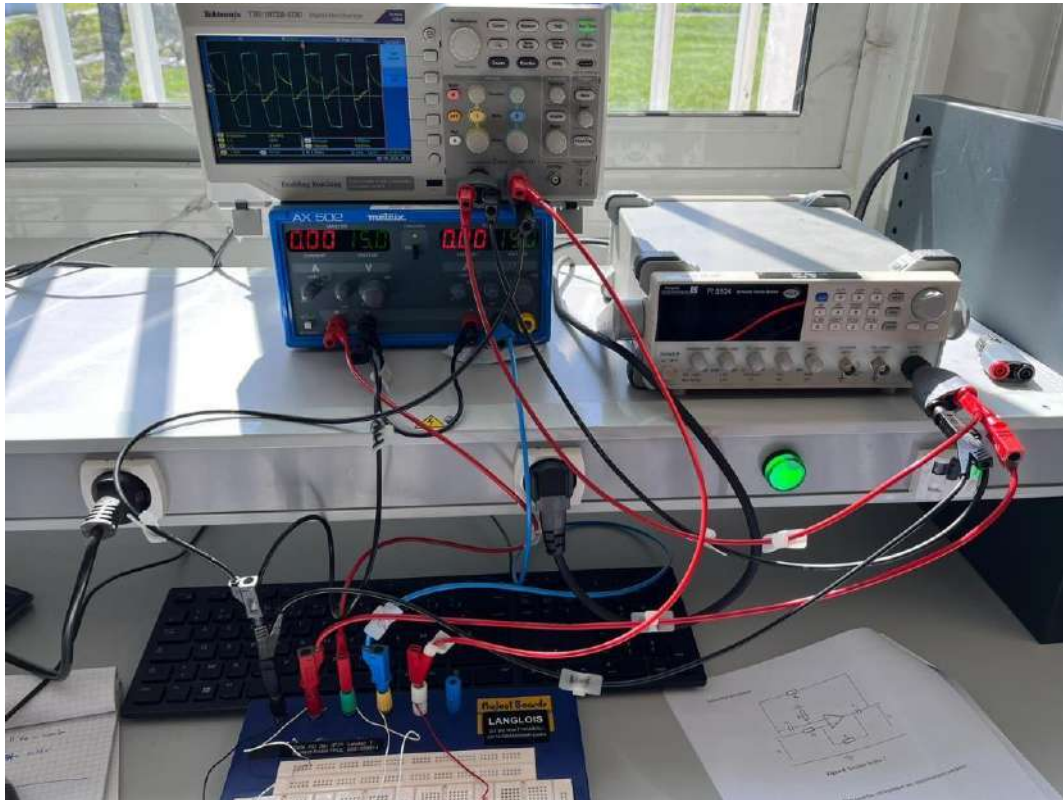


### **III) TEST sur Platine :**

#### **Bloc 2 : Réjecteur de bande.**

Nous n'avons malheureusement pas eu le temps pour simuler ce bloc sur les platines de test.

### Bloc 3 : Filtre Passe-Bande.



*figure 13 : tests sur platine du bloc 3*

Pour rappel ce test doit répondre à chacune des exigences suivantes :

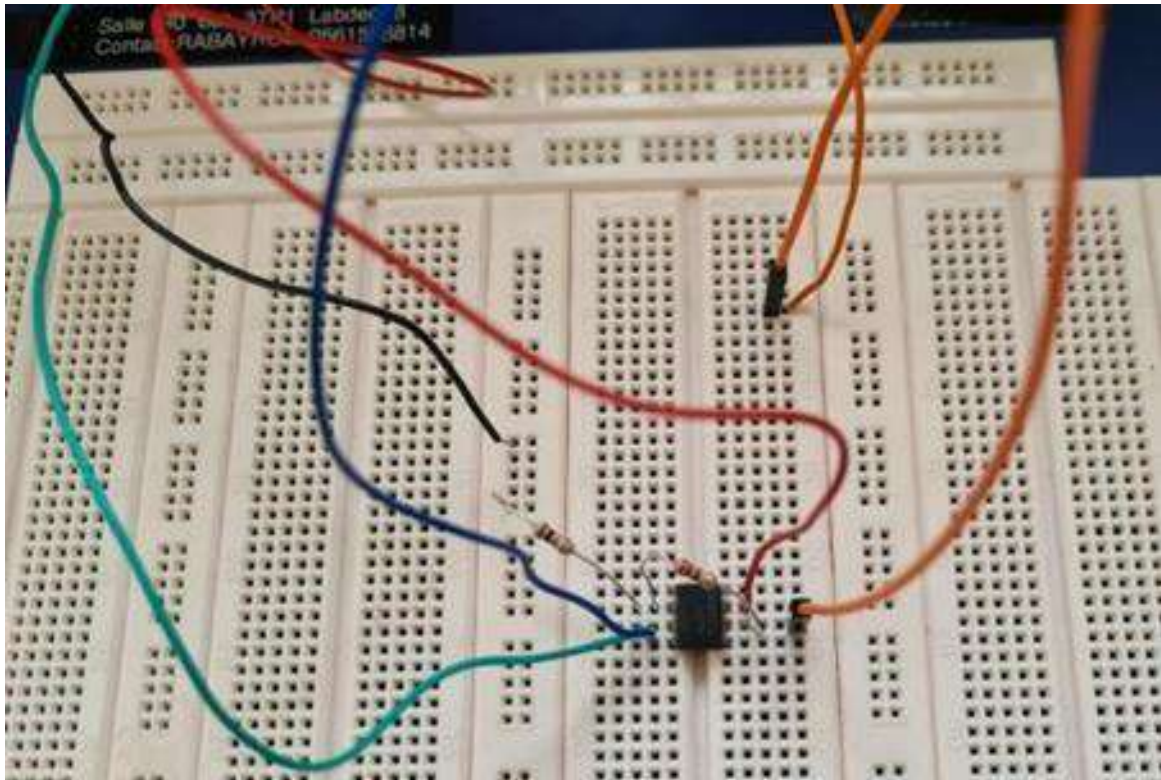
- être un montage non-inverseur
- avoir un gain max (dans la bande passante ) de 14.5 dB
- avoir une fréquence de coupure (à 11,5dB) : 150Hz
- avoir une atténuation : Gain à 1kHz : -17,6dB

Matériel utilisé :

- Multimètre
- Oscilloscope
- Générateur de basses fréquences
- Alimentation continue
- Ordinateur

Le résultat de ce test a révélé que la sortie du bloc était saturée pour toutes les entrées testées. Malgré l'aide de nos enseignants, nous n'avons pas pu identifier la raison de ce problème. Par conséquent, nous avons décidé d'apporter de légères modifications aux valeurs des composants, comme mentionné précédemment.

## Bloc 4 : Amplificateur non inverseur.



*figure 14 : test sur platine du bloc 4*

Selon les spécifications du cahier des charges, l'amplificateur doit avoir un gain de 221. Une fois que nous avons placé les résistances et l'amplificateur opérationnel (AOP) sur la platine de test et effectué le câblage, nous avons procédé à une mesure de test en appliquant une tension de 0,01 V en entrée. Nous avons relevé une lecture de 2,41 V en sortie à l'aide d'un multimètre. En calculant le rapport  $2,41/0,01$ , nous obtenons un gain de 241, ce qui est proche de la valeur cible de 221.

## IV) Routage et brasage:

Une fois le circuit électrique construit à partir d'un matériau isolant, il assure la connexion électrique entre les différents composants électroniques. Ces connexions sont réalisées à l'aide de pistes de cuivre.

Le routage, quant à lui, correspond à l'étape où l'on détermine les connexions spécifiques entre les différents éléments du circuit.

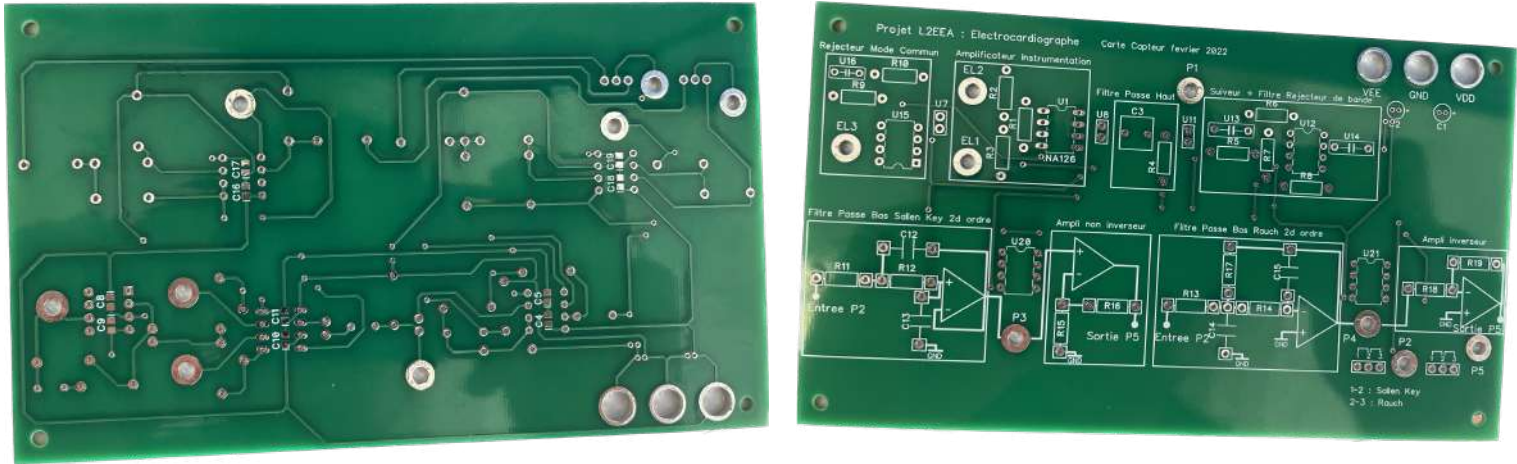


Figure 15 & 16 carte électronique

Le brasage est une méthode utilisée pour créer une connexion métallique entre les composants qui sont assemblés à la surface d'une carte. Dans notre situation, toutes les soudures ont été effectuées en utilisant de l'étain sur la face inférieure (bottom) de la carte. Pour nos besoins, nous disposons d'un ensemble d'outils comprenant des pinces, une pince à épiler, une pompe à dessouder, une tresse à dessouder. Ainsi qu'un poste à souder avec une pâte solide qui permet un nettoyage rapide. Si la pointe du fer est propre, les soudures seront plus faciles à faire.



Figure 17 & 18 outils mis à notre disposition

Lors du processus de brasage de notre circuit, nous avons suivi un ordre bien défini pour les différents composants. Nous avons commencé par les condensateurs CMS, assurant ainsi leur bonne connexion. Ensuite, nous avons procédé au brasage des bornes de 2 mm, suivi des résistances de 1/4 W. Les condensateurs de taille basse ont été soigneusement brasés pour compléter cette étape. Pour préserver l'amplificateur opérationnel (AOP) des dommages causés par la chaleur du fer à souder, nous avons pris soin de braser en priorité le support de circuit intégré (CI) à 8 pattes. Cela a permis d'établir une base solide pour l'installation ultérieure de l'AOP. Ensuite, nous avons continué en brasant les connecteurs mâles picots, assurant ainsi une connexion fiable. Les condensateurs de taille haute, y compris les condensateurs chimiques et ceux de valeur en microfarads (uF), ont été soigneusement brasés, complétant ainsi l'assemblage des composants. Une fois tous les composants correctement brasés, nous avons fixé les bornes de l'alimentation en les vissant solidement. Enfin, nous avons installé les amplificateurs opérationnels sur leurs supports dédiés, assurant ainsi leur stabilité. Après toutes ces étapes de brasage et d'installation, la carte était prête à être soumise à des tests rigoureux pour s'assurer de son bon fonctionnement et de sa performance.

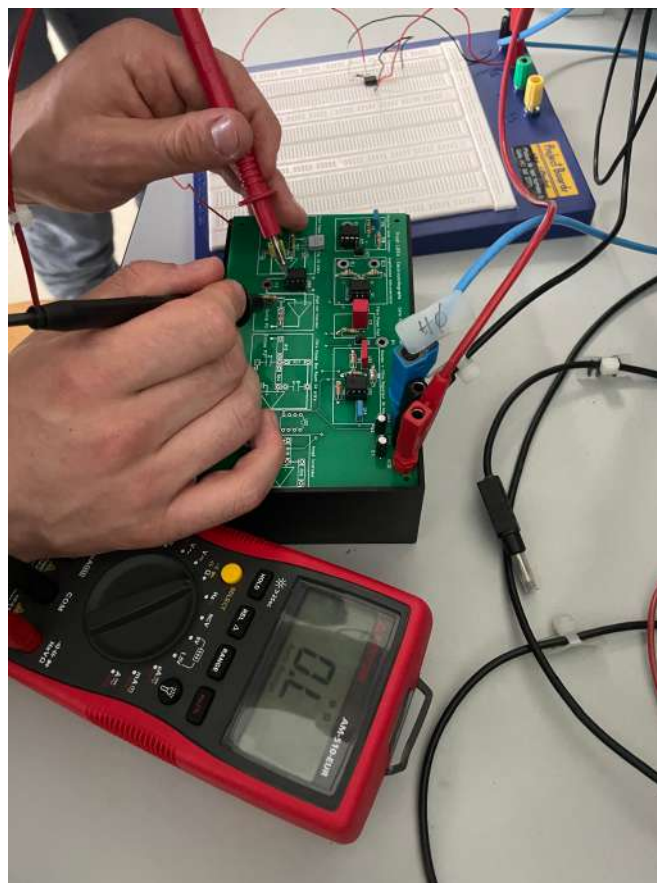


## **V) Tests Finaux :**

Le protocole de test était le suivant :

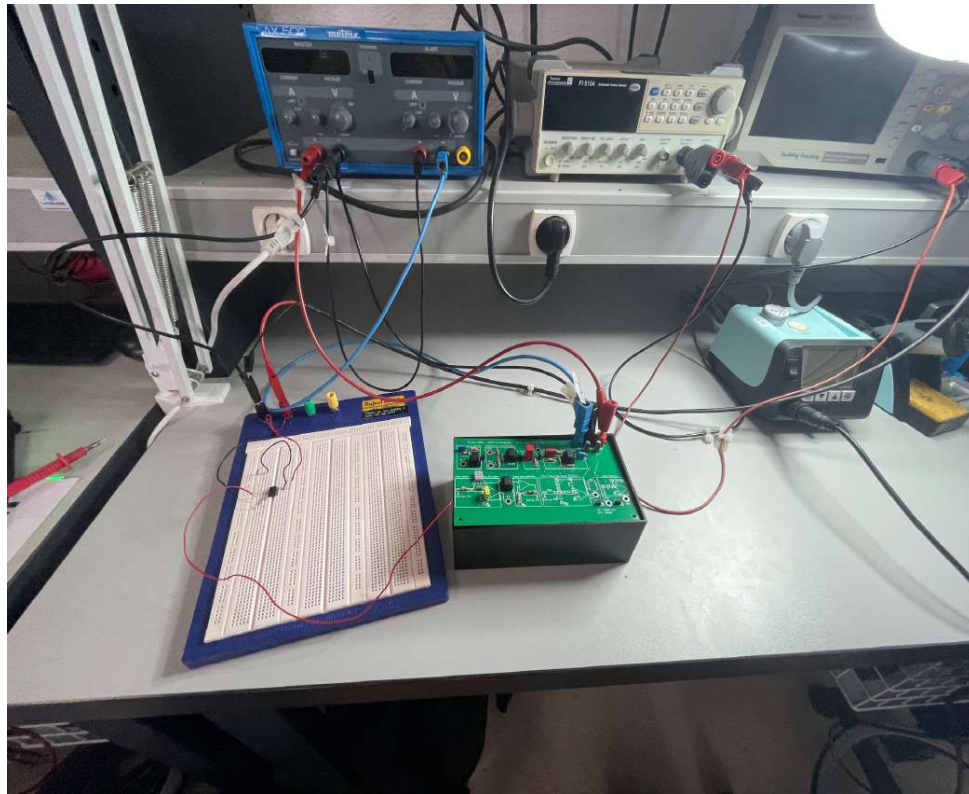
- S'assurer qu'il n'y ait pas de courts-circuits entre le +15 le -15 et le GND
- S'assurer de la continuité de l'alimentation des différents blocs
- Vérifier le fonctionnement de chaque bloc séparément
- Tester la carte dans son entièreté en essayant de capter un signal cardiaque

Nous avons donc d'abord testé l'absence de courts-circuits et la continuité des connexions grâce à un multimètre.



*figure 19 : tests multimètre*

Restant peu de temps, nous avons le choix de tester un seul bloc ou bien de faire confiance à ce que tout marchera et de tester la carte électronique en entier. Nous avons choisi de prendre le risque et de tester la carte entière mais malheureusement en allumant l'alimentation, nous nous sommes retrouvés avec de la fumée provenant de notre AOP. Nous pensons que cela devrait être dû à un mauvais contact de notre AOP. Ainsi, ne restant plus de temps, nous n'avions pas pu continuer les tests.



*Figure 20: Test final*

## ***VI) Conclusion***

Pour mener à bien ce projet, nous étions une équipe de deux personnes, et il était essentiel de s'organiser de manière à ce que chacun puisse s'exprimer et apprendre. Pour chaque étape clé, nous avons travaillé individuellement dans un premier temps, puis nous nous sommes réunis pour partager nos idées et échanger nos avis ainsi que nos méthodes.

Tout au long de ce projet, nous avons eu l'occasion d'explorer, d'apprendre et d'approfondir nos connaissances en électronique. Les débuts ont été assez difficiles, notamment lors de l'étude théorique des deux blocs pour lesquels nous avions un schéma fonctionnel donné (bloc 1 et bloc 2). Cela nous a demandé beaucoup de réflexion, mais grâce à notre persévérance, nous avons finalement trouvé des solutions.

Au cours du semestre 4, nous avons acquis de nouvelles connaissances, telles que les structures de Rauch et de Sallen Key, la manière de retrouver une fonction de transfert, les différents types de filtres et leurs diagrammes de Bode, ainsi que le théorème de Millman. Ces apprentissages nous ont été précieux tout au long du projet pour analyser les schémas fonctionnels et interpréter les résultats obtenus.

Nous avons également eu l'opportunité de découvrir le routage et le brasage de cartes électroniques. En fait, nous avons même réalisé notre propre carte, ce qui nous a permis d'acquérir une nouvelle compétence pratique et concrète.