



BACHELOR UNIVERSITAIRE DE TECHNOLOGIE  
GÉNIE ÉLECTRIQUE ET INFORMATIQUE INDUSTRIELLE

---

## Rapport SAE Son

---

INSTITUT UNIVERSITAIRE DE TECHNOLOGIE DE NICE  
SEMESTRE 4

Intervenants : M Le-bastard M Laurent M Vermalean M Salvat

Alexandre Pichot

19 avril 2024



## Table des matières

<b>1 Présentation du projet</b>	<b>4</b>
1.1 Introduction . . . . .	4
1.2 Organisation . . . . .	5
1.2.1 Diagramme de Gantt . . . . .	5
1.2.2 Diagramme IBD et DBB . . . . .	6
<b>2 Conditionnement</b>	<b>8</b>
2.1 Etude du module bluetooth . . . . .	8
2.2 Determination du conditionnement . . . . .	8
2.2.1 LTspice . . . . .	9
2.3 Essai réel . . . . .	9
<b>3 VHDL</b>	<b>12</b>
3.1 Création de la MLI . . . . .	13
3.2 Affichage des leds dynamique . . . . .	14
<b>4 Pont en H</b>	<b>15</b>
<b>5 Filtre de sortie</b>	<b>16</b>
5.1 LTspice . . . . .	17
5.2 MatLab . . . . .	18
<b>6 Design Spark</b>	<b>20</b>
6.1 Carte PepeJam . . . . .	20
6.2 Carte Leds . . . . .	21
6.3 Schéma de cablage . . . . .	22
<b>7 Design</b>	<b>23</b>
7.0.1 Modélisation 3D . . . . .	23
7.0.2 Création de la piece . . . . .	24
7.1 Modélisation 3D . . . . .	25
7.1.1 Support pour les cartes électroniques . . . . .	25
7.1.2 Support pour les hauts parleurs . . . . .	25
7.1.3 Face avant . . . . .	26
<b>Conclusion</b>	<b>29</b>

# 1 Présentation du projet

## 1.1 Introduction

Avant toute chose, je tiens à adresser mes sincères remerciements aux intervenants de ce projet pour leur soutien lors du développement, débogage, routage, (...) pendant les nombreuses séances où ils nous ont encadrés. Je remercie aussi M Garnier d'avoir imprimé mes cartes dans les meilleurs délais. Et enfin, M Rank pour le soudage de ma carte Pont en H.

Le projet de 2ème année GEII a l'IUT Nice cote d'azur vise à démontrer le fonctionnement et à concevoir un amplificateur de classe D. Cette conception innovante repose sur l'amplification des signaux numériques exclusivement, éliminant ainsi le besoin de convertisseurs numérique-analogique (CNA). L'attrait principal de l'amplificateur de classe D réside dans son rendement élevé et sa compacité, offrant ainsi une solution compacte et économique

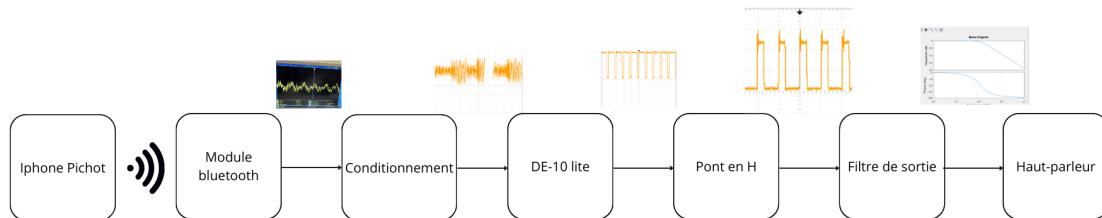


FIGURE 2 – Diagramme du projet

J'ai listé mes principaux objectifs pour ce projet qui sont :

- Etude conditionnement
- Etude filtre LC
- Etude de la carte pont en H
- Programmation de la DE-10 lite
- Schématique et routage de la carte "PepeJam" (Conditionnement et filtre LC)
- Conception du design
- Modélisation 3D
- Assemblage

## 1.2 Organisation

### 1.2.1 Diagramme de Gantt

Pour l'organisation de mon projet, j'ai décidé de faire un diagramme de gantt qui est utilisé pour lister les tâches et identifier leurs durée sur un calendrier. J'ai aussi mis des dépendances qui me permet de privilégier certaines tâches à d'autres et de voir l'avancement global dans le temps.

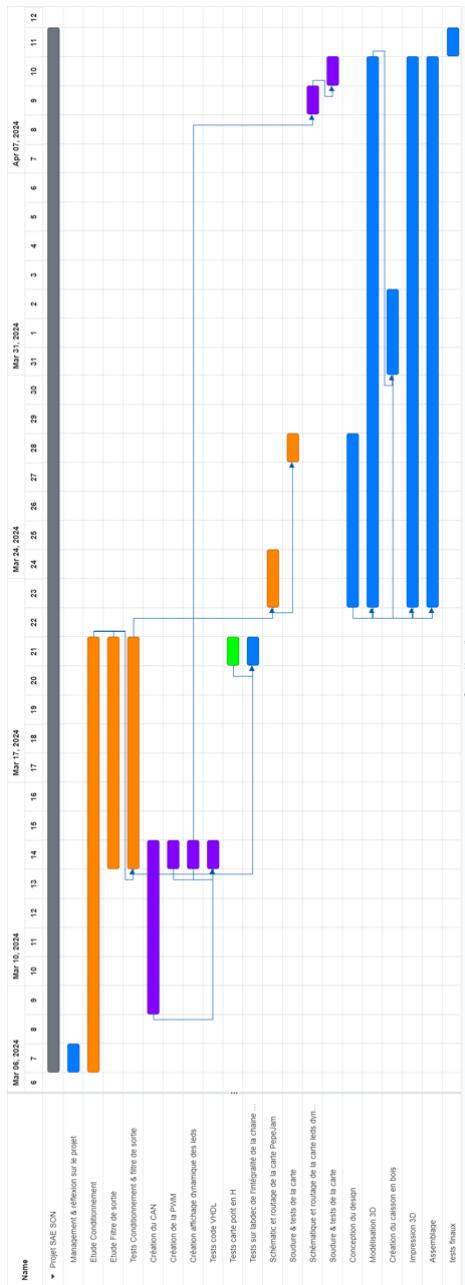


FIGURE 3 – Diagramme de Gantt

### 1.2.2 Diagramme IBD et DBB

J'ai effectué 2 diagrammes : un IBD qui sert à visualiser tous les composants mis dans l'enceinte

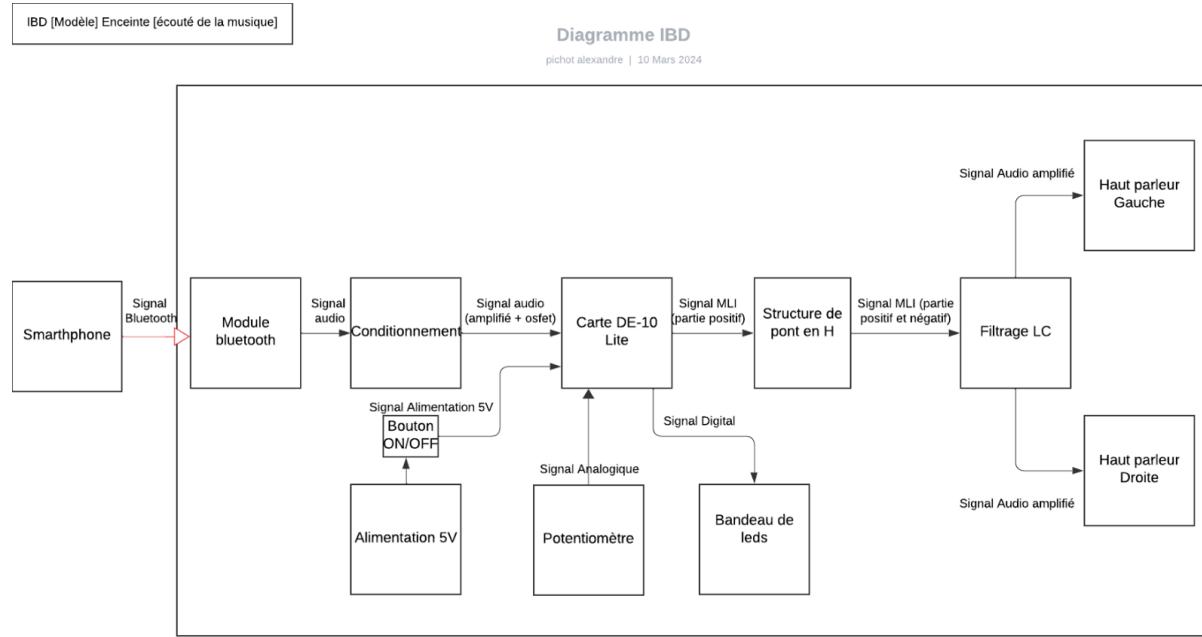


FIGURE 4 – Diagramme IBD

J'ai aussi fait un Diagramme DBB avec un blocks en haut où se trouve le block "enceinte" et en découle les différents blocks du projet finale.

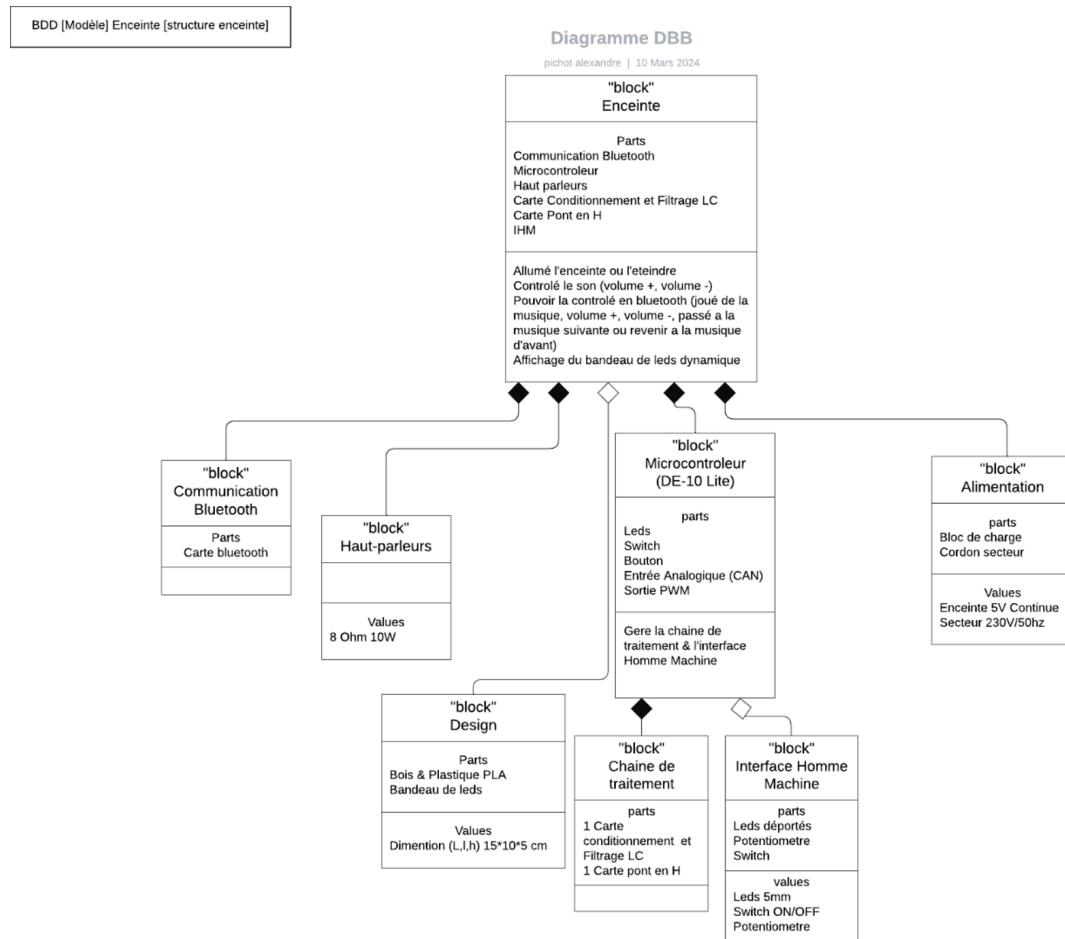


FIGURE 5 – Diagramme DBB

## 2 Conditionnement

### 2.1 Etude du module bluetooth

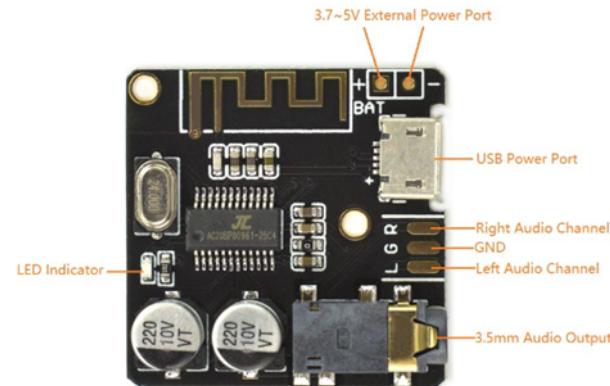


FIGURE 6 – Module bluetooth

Apres analyse de cette carte, place à la musique ;pour cela j'ai alimenté le module avec une prise micro USB et je branche un jack sur la sortie audio à laquelle je relie un haut-parleur Je me connecte avec mon téléphone je lance de la musique et je mets une sonde entre le GND et le Right Je m'aperçois que ma sortie audio V1 est entre -0.5V et 0.6V avec le volume au maximum.

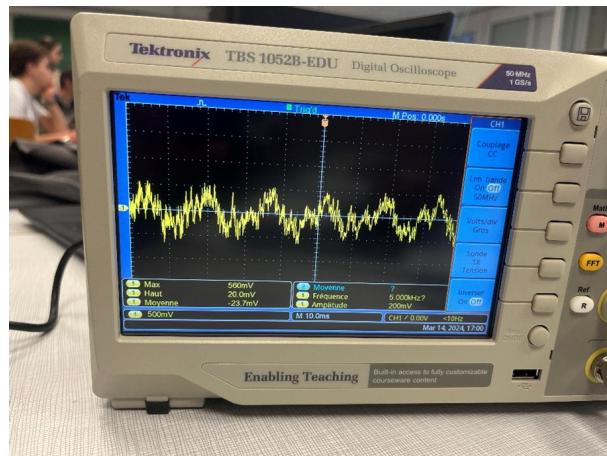


FIGURE 7 – Signal de sortie du module bluetooth

Ensuite, je vais dans le manuel de la carte DE-10 pour rechercher l'onglet ADC (analog to digital converter)

J'apprends que la plage de tension des pin ADC est de 0V-5V.

### 2.2 Determination du conditionnement

Pour le conditionnement, l'objectif est de remonter la valeur moyenne d'environ 2V car à la sortie du module bluetooth on a une valeur moyenne de 0V, on utilisera un aop

LM358 qui a une tension de déchet de 1V. En définitive on veut qu'à la sortie de notre conditionnement, le signal audio soit compris entre 0V et 4V avec une valeur moyenne de 2V.

Pour accomplir notre objectif on fait un sommateur non inverseur qui additionnera le signal audio et une tension continue de 2V, qui fera notre offset

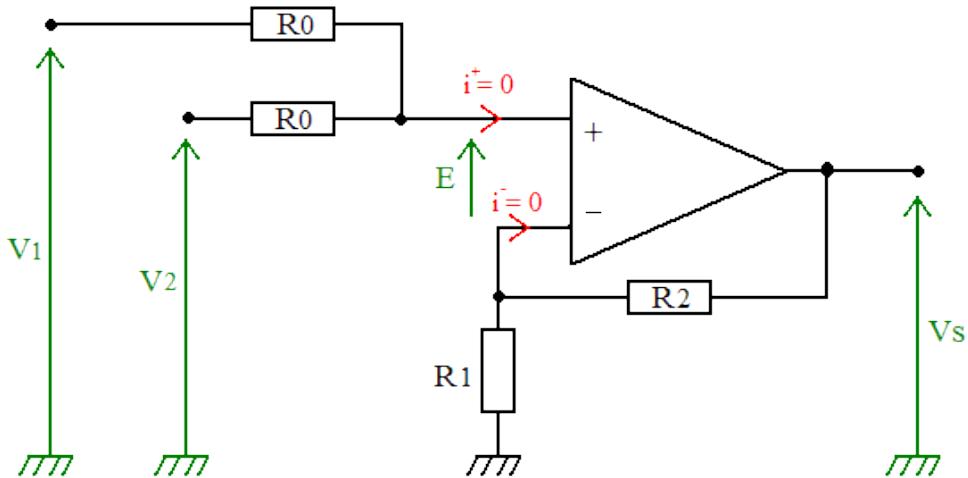


FIGURE 8 – Sommateur non inverseur

Pour les calculs du sommateur on mettra des résistances de la même valeur.

$$\begin{aligned} V_+ &= \frac{\frac{V_1}{R} + \frac{V_2}{R}}{\frac{2}{R}} = \frac{V_1 + V_2}{2} \\ V_- &= V_S \frac{R}{2R} = \frac{V_S}{2} \\ V_+ &= V_- \Rightarrow V_S = V_1 + V_2 \end{aligned} \tag{1}$$

Pour le gain, on modifera R2 pour ajuster le signal entre 0V et 4V

$$G = 1 + \frac{R2}{R1} \tag{2}$$

### 2.2.1 LTspice

R3 et R4 sont notre pont diviseur : on réglera R3 à l'aide d'un potentiomètre pour avoir un offset suffisant, notre gain est contrôlé avec R2 et R5 on pourra contrôler R5 pour avoir un gain suffisant.  $G=1+R5/R4$  Pour les essais, nous mettrons des potentiomètres pour que cela soit plus facilement modifiable.

## 2.3 Essai réel

J'ai reproduit mes schémas de LTspice sur labdec avec des fils de grande taille. J'arrive à amplifier mon signal audio et de le redresser à 2V même si j'ai beaucoup

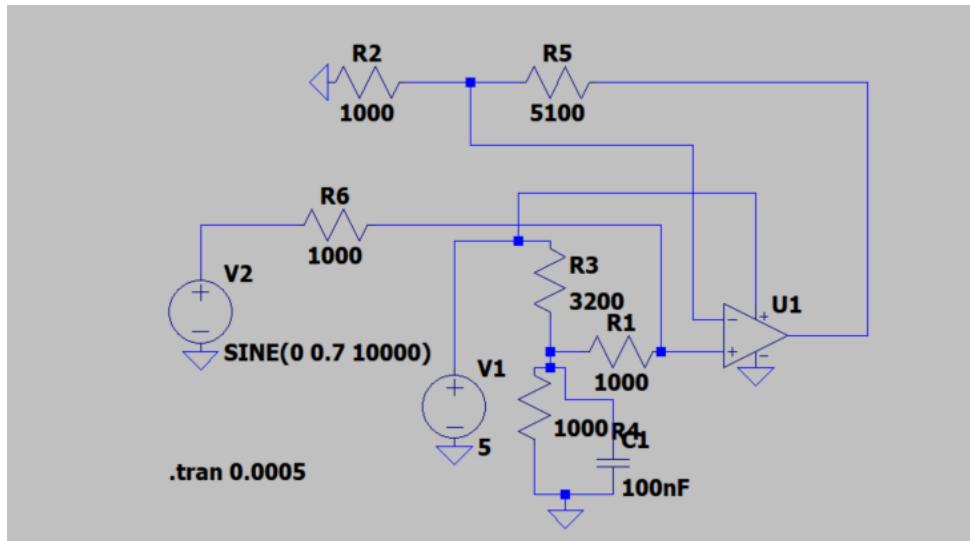


FIGURE 9 – Conditionnement sur LTspice

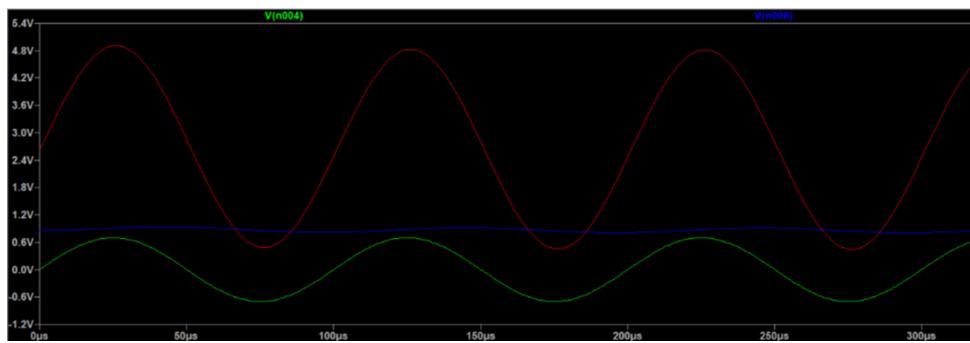


FIGURE 10 – Simulation de lt spice

d'intéférences. On m'a conseillé de le faire avec des fils de bonne taille et à ce moment là j'ai réussi à avoir un son assez qualitatif

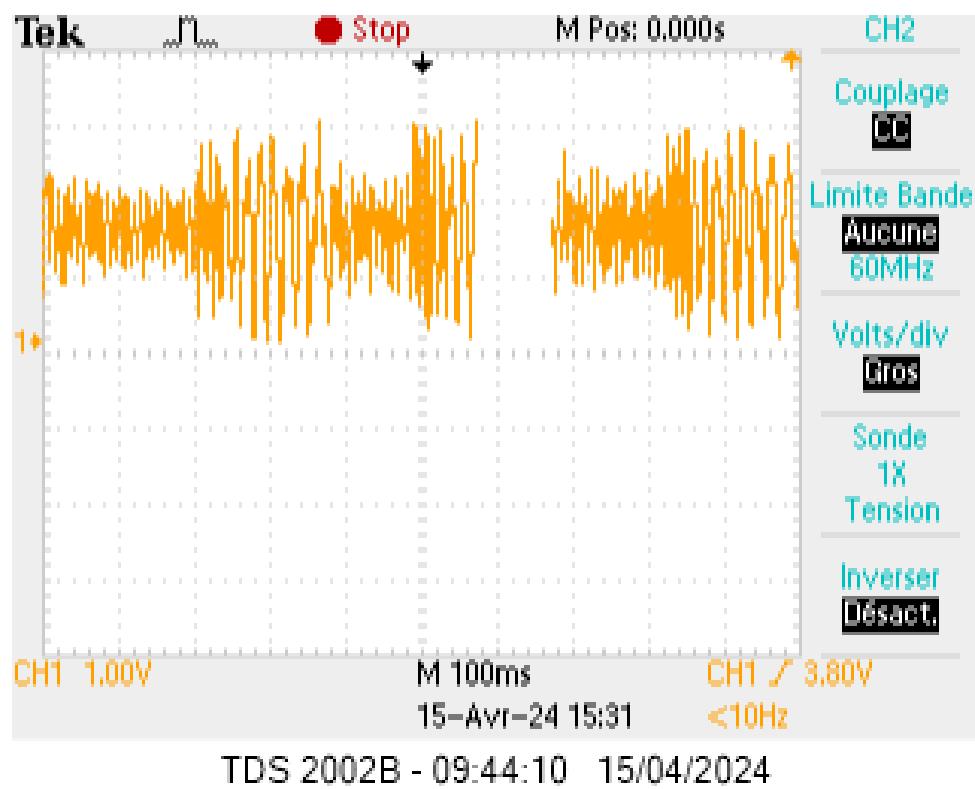


FIGURE 11 – Signal à la sortie du conditionnement

### 3 VHDL

Pour cette partie, nous utiliserons du VHDL (VHSIC Hardware Description Language) qui est un langage de description matériel utilisé dans la conception et la vérification de circuits électroniques. Il permet de décrire le comportement et la structure des systèmes numériques. Il est utilisé pour la simulation et la vérification des cartes avant la fabrication. Le langage est fait d'une partie de programmation structurelle et d'une partie de programmation avec des lignes de codes.

Nous utiliserons quartus pour programmer les différents blocks :

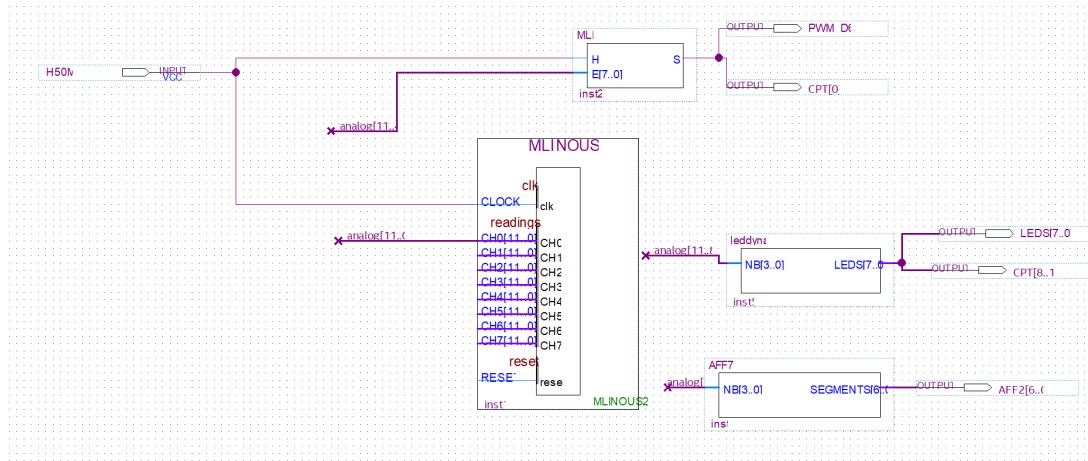


FIGURE 12 – Architecture du projet sur quartus

Pour la création du convertisseur analogique numérique, Quartus propose déjà un block déjà fait avec les sorties analogiques

### 3.1 Création de la MLI

Pour la création de la modulation de la largeur d'impulsions on crée un block avec 2 entrées : une pour la clock de 50Mhz fournie par la carte De-10 lite et une autre pour la sortie de notre can

On fait notre MLI sur 8 bits. On fait notre comparaison pas sur 5V car a la sortie du conditionnement on a 4V d'amplitude et 2V de valeur moyenne donc on regle l'entré en l'a multipliant par '101' et en plus faire un décalage bit a bit de 2.

```

1  library IEEE;
2  use IEEE.std_logic_1164.all;
3  use IEEE.std_logic_unsigned.all;
4  use ieee.numeric_std.all;
5
6
7  ENTITY MLI IS
8  PORT(
9   H : IN STD_LOGIC;
10  E: IN STD_LOGIC_VECTOR(7 downto 0);
11  S : OUT STD_LOGIC
12  );
13 END MLI;
14 ARCHITECTURE archi OF MLI IS
15 Signal Sig : integer range 0 to 511:=0;
16 Signal E_Int: std_logic_vector (10 downto 0);
17 Signal E_Final : std_logic_vector (8 downto 0);
18 BEGIN
19 Process(H)
20 Begin
21 IF(H'event and H='1') then
22 if (Sig=255) then
23   Sig<=0;
24 else
25   Sig<=Sig+1;
26 end if;
27 E_Int<=(E*"101");
28 E_Final<= E_Int(10 downto 2);
29
30 END IF;
31 END PROCESS;
32 S <='1'when((Sig)<E_Final) ELSE'0';
33 END archi;
```

FIGURE 13 – Code pour MLI

### 3.2 Affichage des leds dynamique

Pour l'affichage des leds il faut créer une sortie d'un bus de 8 leds puis mettre la sortie de notre du CAN dans un nouveau block qui lui permettra de réajustér l'offset du signal et d'enlever les leds qui restent allumés a cause de l'offset pour avoir un bel affichage dynamique.

```
1  Library IEEE;
2  use IEEE.std_logic_1164.all;
3  use IEEE.std_logic_unsigned.all;
4
5  ENTITY leddyna IS
6  PORT(
7      NB : IN INTEGER RANGE 0 TO 15;
8      LEDS : OUT STD_LOGIC_VECTOR(7 downto 0));
9  END leddyna ;
10 ARCHITECTURE archi OF leddyna IS
11 BEGIN
12     LEDS <=    "00000000" when NB=0 else
13             "00000000" when NB=1 else
14             "00000000" when NB=2 else
15             "00000000" when NB=3 else
16             "00000000" when NB=4 else
17             "00000000" when NB=5 else
18             "00000001" when NB=6 else
19             "00000011" when NB=7 else
20             "00000111" when NB=8 else
21             "00001111" when NB=9 else
22             "00011111" when NB=10 else
23             "00111111" when NB=11 else
24             "01111111" when NB=12 else
25             "01111111" when NB=13 else
26             "11111111" when NB=14 else
27             "11111111" when NB=15;
28 END archi ;
```

FIGURE 14 – code pour affichage ledodynamique

## 4 Pont en H

La carte pont en H m'a été fournie soudée. j'ai malgré tout étudié la carte et fait des tests .Pour cette carte qu'on alimente en 12V, on utilise un driver HIP4082, ce dernier est utilisé pour amplifier notre PWM en sortie de notre carte.Cette carte a aussi 2 bras de ponts qui sont fait avec des Mosfet FDS8949,ils sont composés de 2 transistors et 2 diodes de roues libres qu'on alimente en 12V ; voici les sorties de la carte pont en H et si on fusionne les 2 signaux de sortie on voit qu'il n'y a aucune partie à 0V car les transistors ne peuvent pas s'ouvrir ou se fermer en même temps.

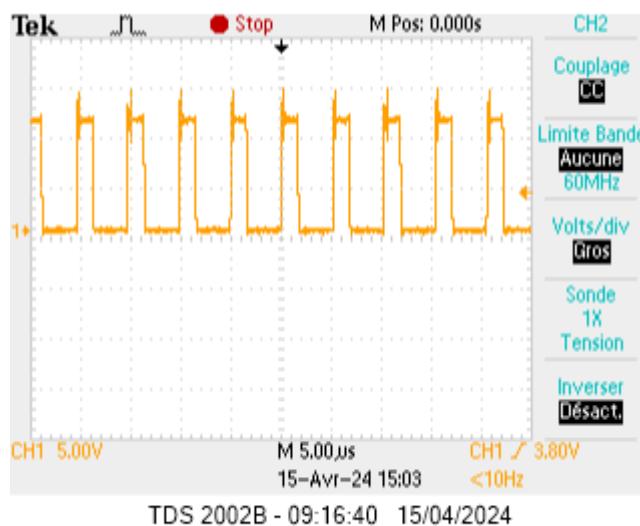


FIGURE 15 – sortie OUT1 de la carte pont en H

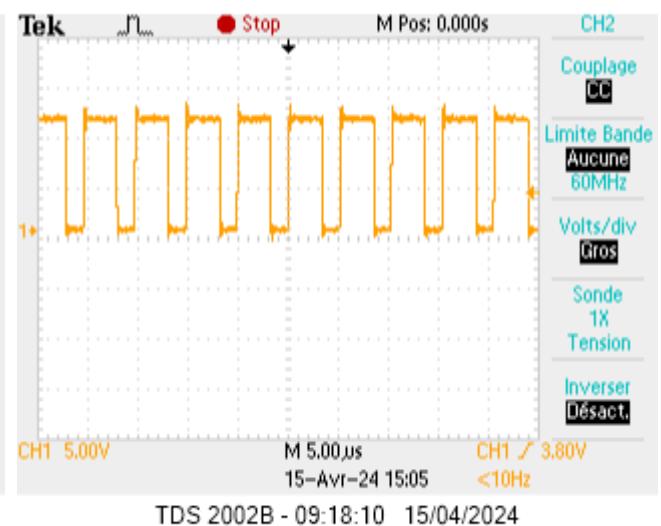


FIGURE 16 – sortie OUT2 de la carte pont en H

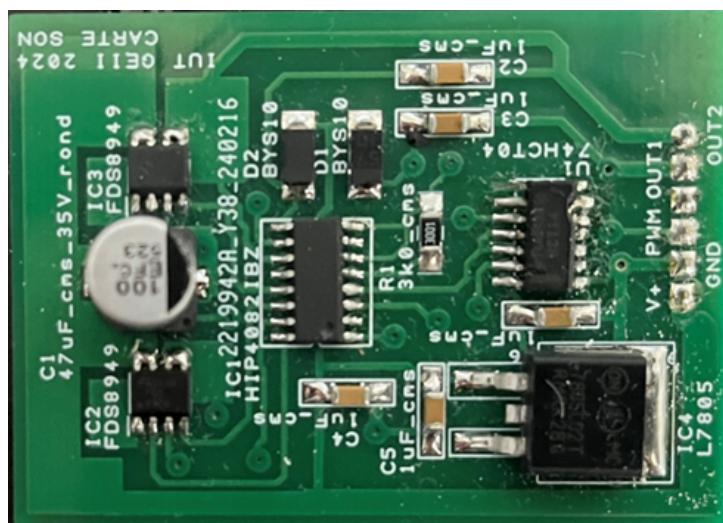


FIGURE 17 – Carte Pont en H réel

## 5 Filtre de sortie

Dans le filtre de sortie nous utiliserons un filtre passe bas de deuxième ordre et un circuit RC pour amortir les surtensions. On utilise ces filtres pour éviter les hautes fréquences car il y a un risque d'endommager le haut-parleur et avoir une mauvaise qualité sonore. Premièrement, on a comme objectif d'avoir une fréquence de coupure environ égale à 20Khz, donc pour avoir une fréquence non audible.

Dans un premier temps on va effectuer des calculs, pour séparer les impédances en 2 groupes  $Z_L$  et  $Z_{cc}$  et on réalisera un pont diviseur entre  $Z_{C1}, Z_{R1}$  et  $Z_{C2}$

$$\begin{aligned} z_{cc} &= Z_{c1} / (Z_R + Z_{c2}) \\ z_{cc} &= \frac{1}{jc_1w + \frac{1}{1+RC_2jw}} \\ z_{cc} &= \frac{1}{\frac{jc_1w}{1} + \frac{1}{1+RC_2jw}} \\ z_{cc} &= \frac{1}{\frac{jC_1w(1+RC_2jw)+1}{1+RC_2jw}} \\ z_{cc} &= \frac{1+RC_2jw}{RC_1C_2j^2w^2 + jc_1w + 1} \end{aligned} \quad (3)$$

on pourra réaliser un pont diviseur entre  $Z_{cc}$  et  $Z_L$  pour avoir l'impédance total du filtre de sortie :

$$s = jw \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \frac{V_{out}}{V_e} &= \frac{Z_{cc}}{Z_L + Z_{cc}} \\ \frac{V_{out}}{V_e} &= \frac{1 + RC_2j}{j(R_C C_2)^2 w^2 + jC_1 w + 1 + 1 + RC_2jw} \\ \frac{V_{out}}{V_e} &= \frac{1 + RC_2jw}{j^3 w^3 RLC_1 C_2 + j^2 w^2 L C_1 + jLw + RC_2jw + 1} \\ \frac{V_{out}}{V_e} &= \frac{1 + RC_2s}{s^3 RLC_1 C_2 + s^2 L C_1 + (L + RC_2)s + 1} \end{aligned} \quad (5)$$

Avec le calcul de fonction de transfert on remarque un  $s^3$  qui énonce qu'on étudie un filtre d'ordre 3. Dans un deuxième temps, nous ferons les applications numériques pour retrouver les bonnes valeurs des composants et pour avoir une fréquence de coupure à 20Khz. On impose  $L$  car nous n'avons pas le choix que d'utiliser une inductance de 4.7uH

$$\begin{aligned} f_c &= \frac{1}{2pi\sqrt{L \times C}} \\ C &= \left( \frac{1}{2pi \times f_c \sqrt{L}} \right)^2 \\ C &= \left( \frac{1}{2pi \times 20000 \sqrt{47 \times (10^{-6})}} \right)^2 = 1.347 \mu F \end{aligned} \quad (6)$$

Donc pour le choix de mon condensateur j'ai pris un condensateur à 1uF.

## 5.1 LTspice

J'ai effectué mes simulations sur LTspice pour voir comment le filtre réagissait. J'ai effectué deux simulations une juste avec le filtre LC et la charge du haut parleur.

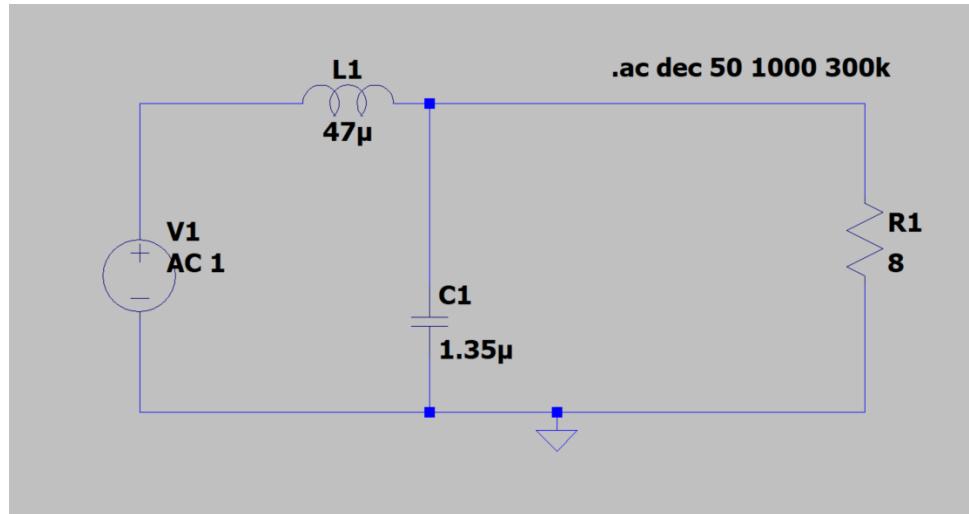


FIGURE 18 – Conception du filtre de sortie sur LTspice

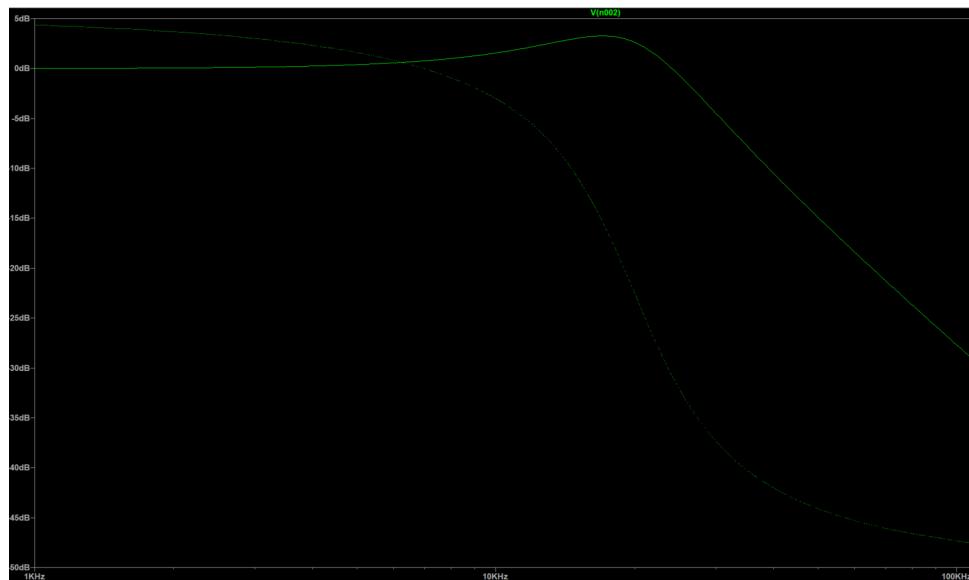


FIGURE 19 – Diagramme de bode sur LTspice

La fréquence de coupure est bien de 20khz lorsque la phase est à  $-90^\circ$  (-4dB).

On remarque qu'avec uniquement le filtre LC on a un pic de 6db du à la résonnance. Cela peut provoquer une surtension au bornes du haut-parleur donc on doit absolument supprimer cette résonnance. Donc j'effectue une autre simulation avec le filtre LC, la charge du haut parleur mais en plus avec une résistance (R2) et un condensateur (C2).

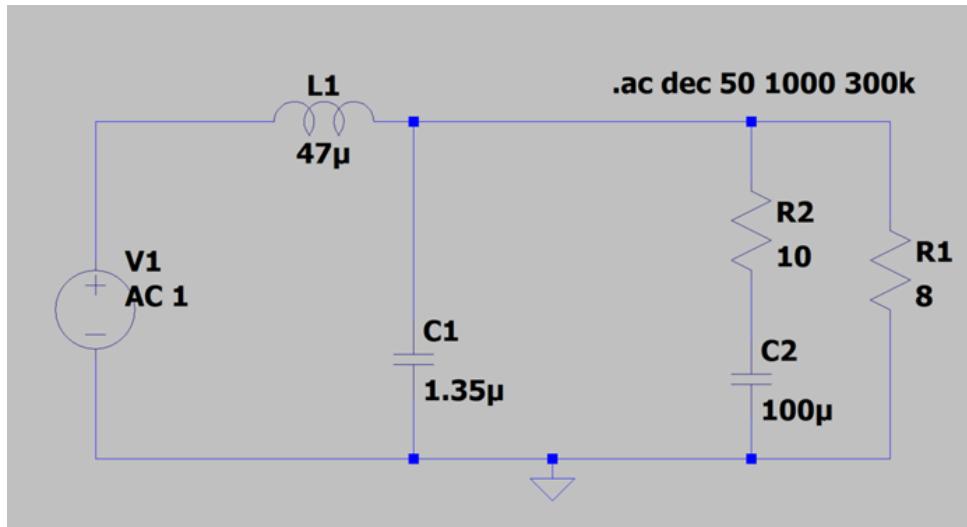


FIGURE 20 – Conception du filtre de sortie sur LTspice

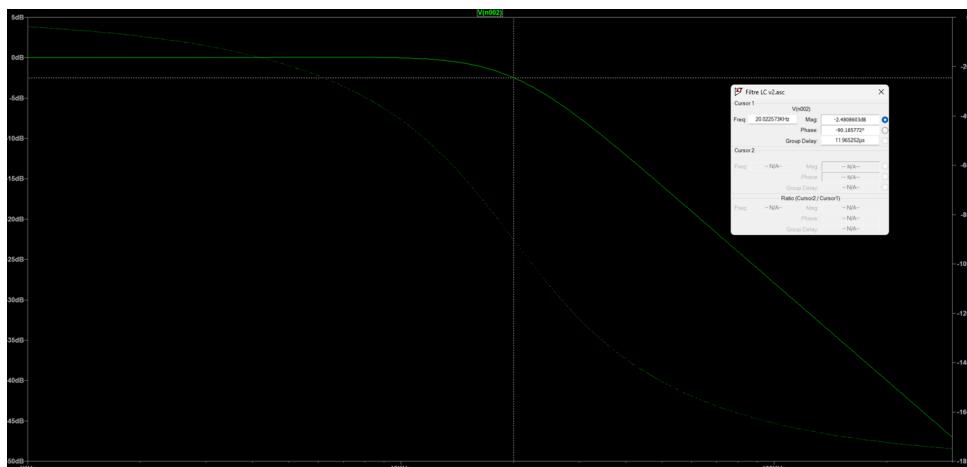


FIGURE 21 – Diagramme de bode sur LTspice

Pour vérifier si ma fonction de transfert est juste, je rentre les valeurs des différents composants et je simule sur Matlab et je vérifie que j'ai le même diagramme de Bode.

## 5.2 MatLab

La fonction de transfert ci-dessous est de l'ordre 3 si on arrange le numérateur et le dénominateur.

```
H = 
6.33e-19 s^3 + 1.491e-12 s^2 + 9.83e-07 s + 0.125
-----
4.007e-29 s^5 + 1.086e-22 s^4 + 9.007e-17 s^3 + 2.294e-11 s^2 + 2.546e-06 s + 0.125
```

FIGURE 22 – Fonction de transfert matlab

En simulant sur matlab on remarque qu'on a le même diagramme de bode que sur

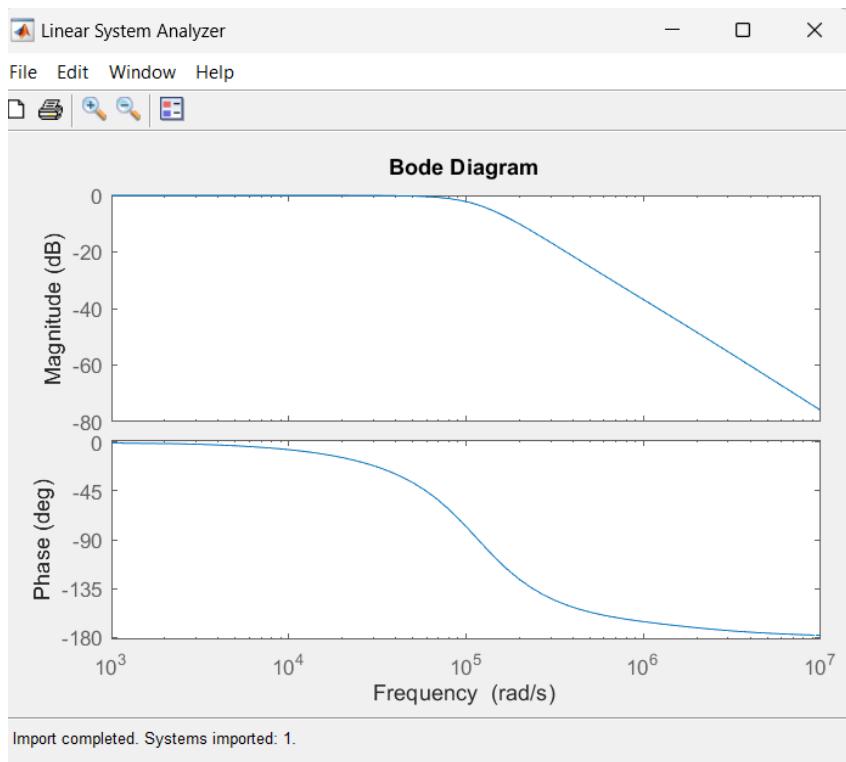


FIGURE 23 – Diagramme de bode matlab

LTspice. Pour conclure, le filtre de sortie devra protéger mon haut-parleur des surtensions et supprimera les fréquences au dessus de 20khz pour avoir un signal de sortie plus propre et à réduire les distorsions, améliorant ainsi la qualité audio globale de l'amplificateur de classe D.

6 Design Spark

## 6.1 Carte PepeJam

Pour la section du conditionnement et Filtrage de sortie j'ai voulu les mettre sur une seule et même carte car cela va créer moins de perturbations et mon amplificateur de classe D sera plus fiable. En général ils sont fait d'une seule carte. Donc pour ma carte j'ai voulu faire une double face sur le bottom de la carte où se trouvent les connecteurs de la DE-10 lite qui sera directement plug sur l'empreinte de l'arduino UNO et sur le top il y aura l'alimentation du 12V et 5V avec une protection contre les surtensions puis des borniers pour les signaux right, left and ground avec son alimentation. Et aussi pour la sortie du filtre de LC. En haut de la carte ce trouve des connecteurs pour les cartes pont en H. J'ai rajouté en plus un HE-10 pour la dynamique du son sur des leds déportés.

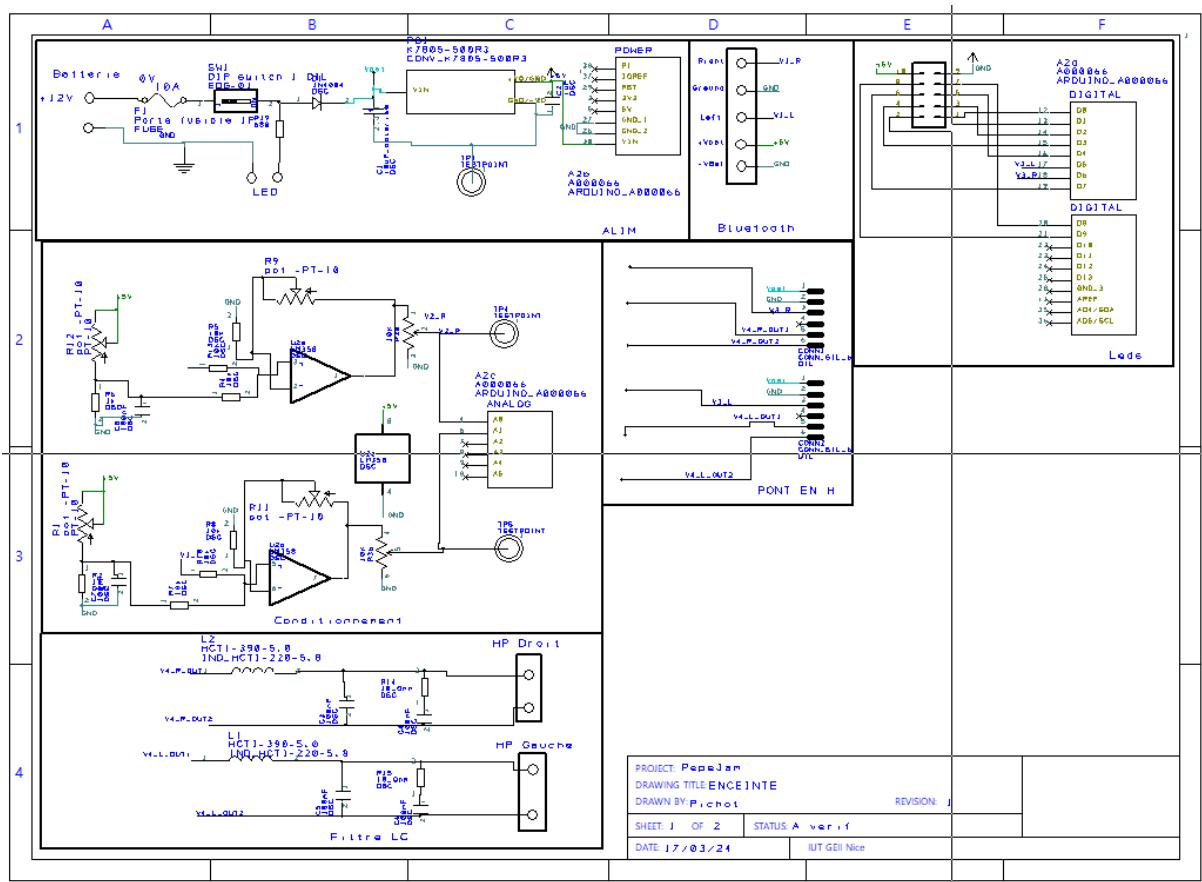


FIGURE 24 – Schéma Carte PepeJam

Pour le PCB j'avais des contraintes de taille car je ne voulais pas avoir une très grosse carte pour ne pas avoir un boîtier volumineux. Je voulais avoir les LEDs et afficheur 7 segments de la carte DE-10 lite visible pour avoir accès rapidement à une IHM de debug. Ensuite, j'ai inséré les composants du schématique j'ai mis les connecteurs de la carte de programmation au niveau du bottom et j'ai bien séparé la partie conditionnement et filtre LC et alimentation.

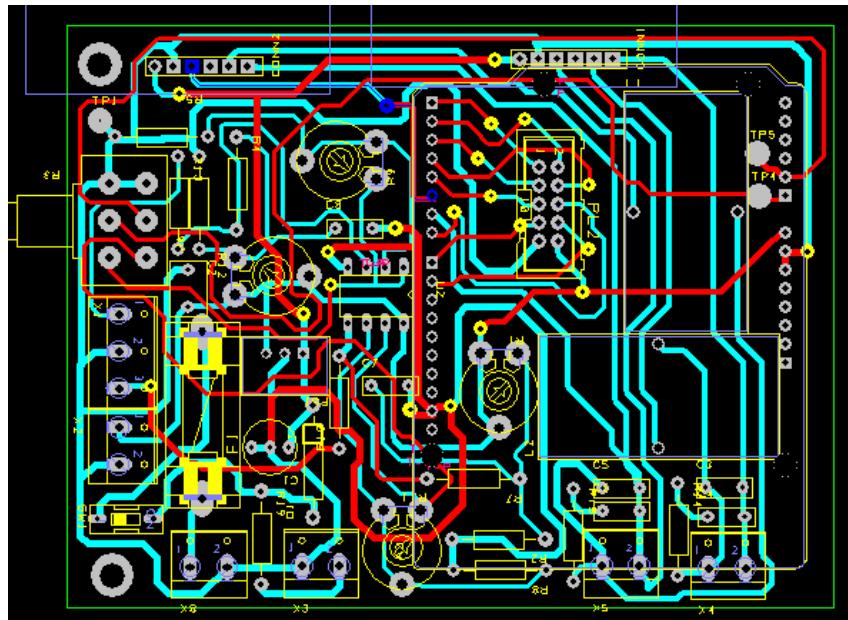


FIGURE 25 – PCB Carte PepeJam

## 6.2 Carte Leds

J'ai fait cette carte pour l'affichage déporté des 8 leds de la dynamique du son pour avoir un meilleur visuelle

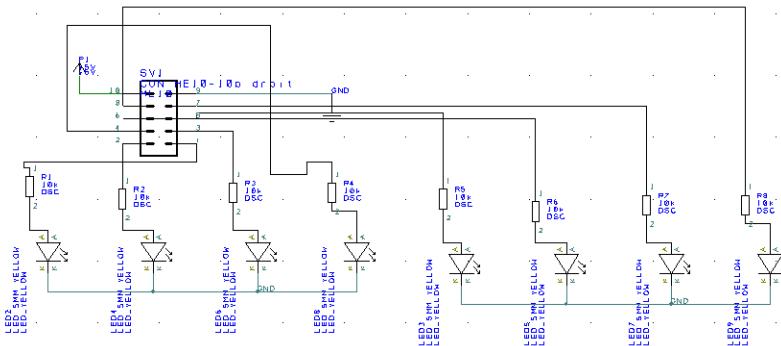


FIGURE 26 – Schématique carte leds déporté

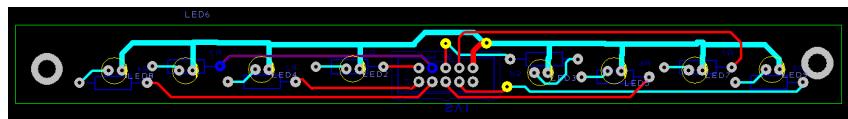


FIGURE 27 – PCB carte leds déporté

J'ai espacé les leds de environ 20mm pour ne pas avoir de décalage sur la lumiere mais je regrette d'avoir fait cette carte a l'aide de composants traversant car les leds 5mm illuminent moins que des leds cms et que les leds cms ne peuvent pas bouger, car elles sont directement plaquées sur la face de la carte contrairement au leds 5mm que j'ai choisi.

### 6.3 Schéma de cablage

Pour une éventuelle maintenance de mon produit je fournis un schéma de cablage de mes 2 cartes.

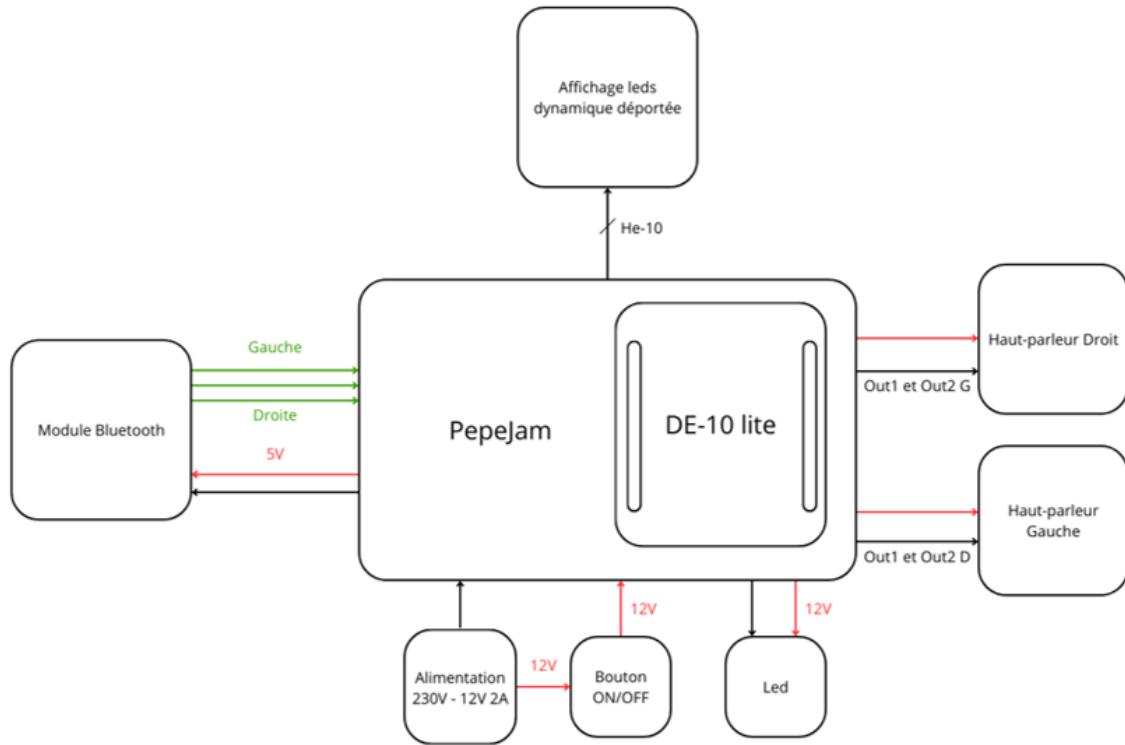


FIGURE 28 – Schéma de cablage

## 7 Design

Pour le design de mon enceinte j'ai essayé de m'inspirer des enceintes de Marshall car j'aime leur design mais je voulais avoir des bonnes performances acoustiques.

C'est pourquoi j'ai choisi de faire un caisson en bois car en particulier le bois dur, est souvent apprécié pour ses excellentes propriétés acoustiques. Il peut aider à atténuer les vibrations indésirables et les résonances. Il est important de noter que le bois dur est durable. Le bois est souvent utilisé en raison de sa capacité à ajouter une sonorité chaude. Cela est dû à la résonance naturelle du bois, qui peut contribuer à produire un son riche et complet.

J'ai eu l'idée de faire mon enceinte en bois car le bois a des points positifs pour le son. Un weekend je suis allé dans l'atelier de mon père à Moulins car il a beaucoup de machines et outils qui permettent de manipuler du bois.

### 7.0.1 Modélisation 3D

Pour la modélisation 3D j'ai fait des plans 2d sur mon cahier de tout ce que le caisson accueillera puis j'ai commencé mon travail sur fusion 360. J'ai décidé de faire un cube en 130x130x130 avec 7mm d'épaisseur et pour les planches j'ai décidé de les faire en contre plaqué. Car c'est un bois ultra résistant pour faire des petites épaisseurs sans que le bois explose. J'ai fait 2 trous sur la face arrière pour accueillir l'alimentation et le bouton on/off

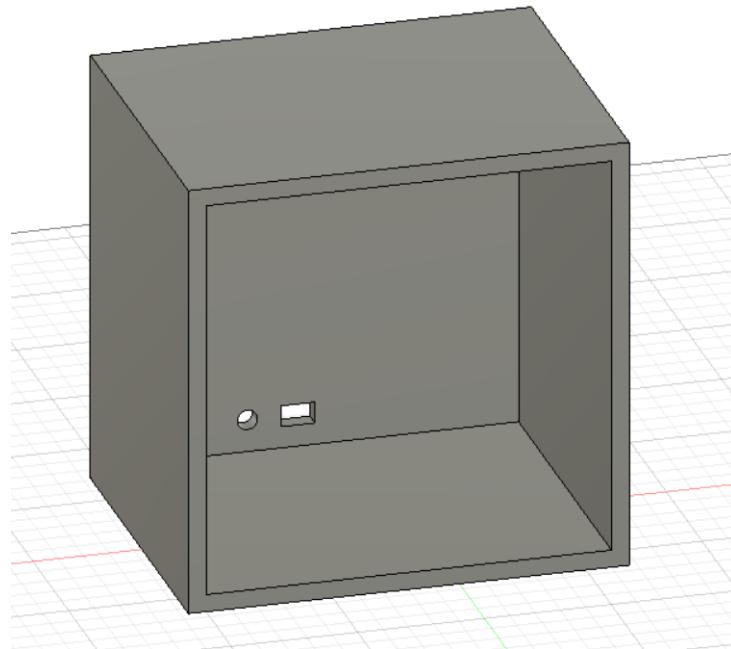


FIGURE 29 – Caisson en bois

Je lui ai envoyé les plans 3D de mon caisson en bois. Et avec lui j'ai effectué certaines étapes :

### 7.0.2 Création de la pièce

- Coupage de la bonne longueur
- Sur les 4 faces avoir 2 tranches à 45 degrés
- Collage des 5 faces et ajouté du mastic pour avoir une étanchéité sonore
- A l'aide d'une défonceuse, avoir des angles arrondis
- Faire les 2 trous sur la face arrière pour l'alimentation et le bouton ON/OFF
- Faire 4 trous sur les tranches de la face avant pour coller les aimants
- Faire 3 couches de lasure, couleur Teck



FIGURE 30 – Etape des angles à 45 degrés

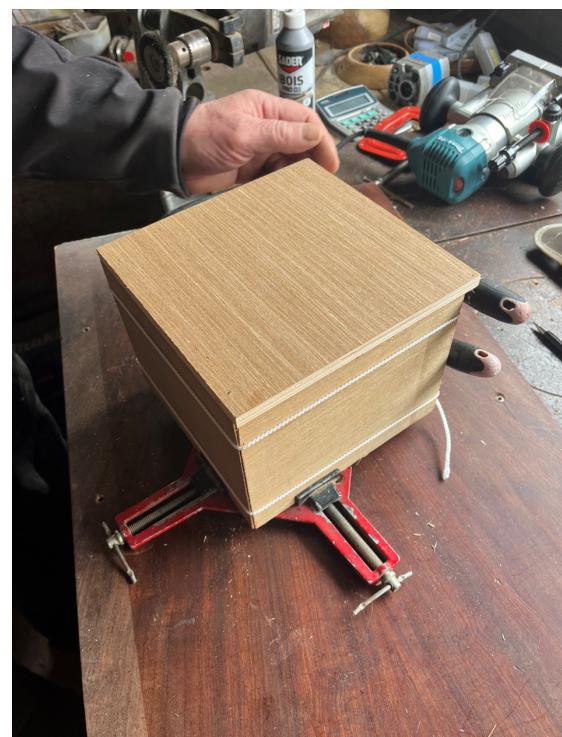


FIGURE 31 – Etape du collage

## 7.1 Modélisation 3D

### 7.1.1 Support pour les cartes électroniques

J'ai décidé de modéliser une boîte pour les cartes électroniques pour pouvoir les transporter facilement et que mon enceinte résiste aux chocs. j'ai aussi fait différents trous dans la boîte pour pouvoir connecter dans les différents borniers ou connecteurs .j'ai aussi fait un couvercle qui peut être visé avec des vis de 3mm et j'ai rajouté des inserts en laiton pour les visser.

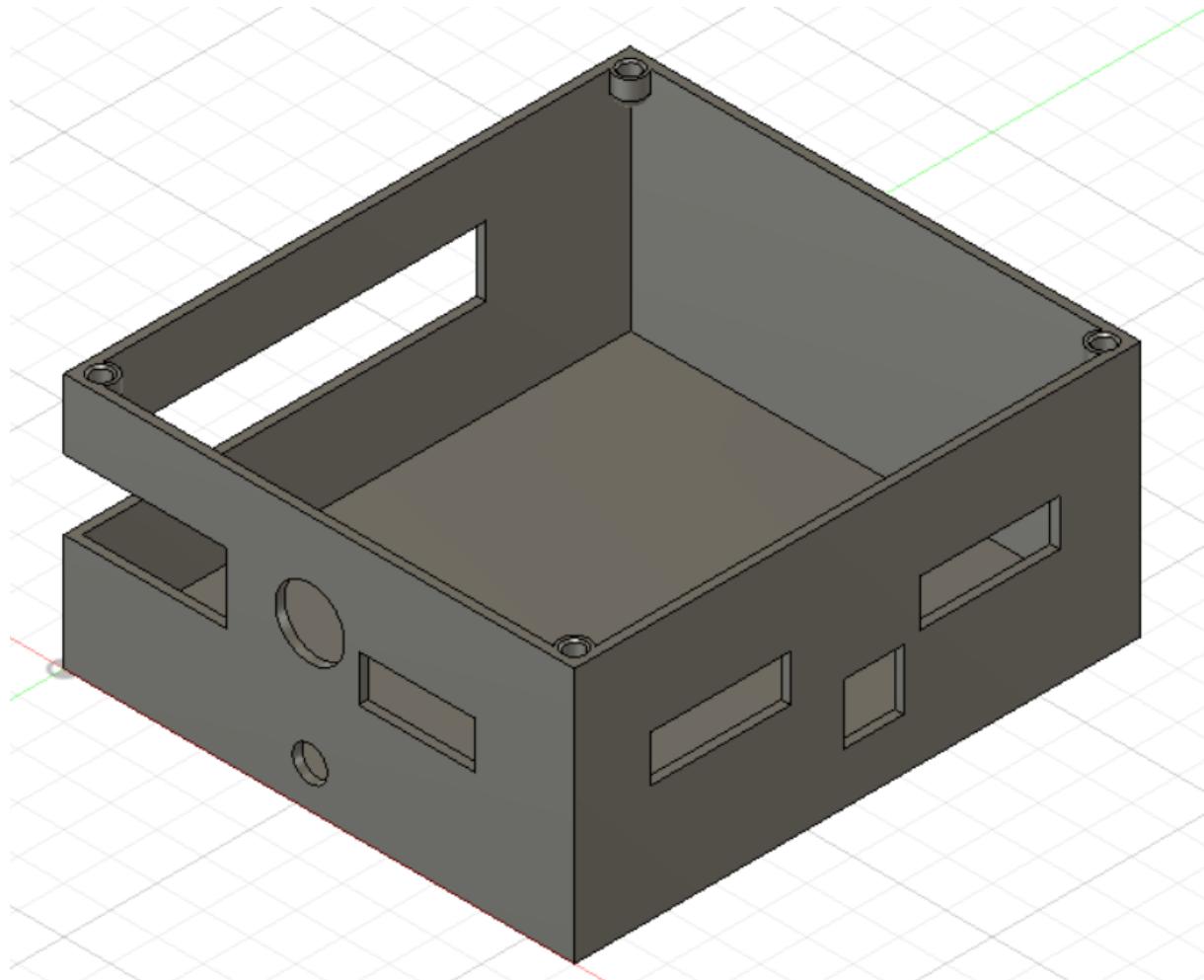


FIGURE 32 – Boîtier pour carte électronique

### 7.1.2 Support pour les hauts parleurs

Pour le support des haut-parleurs j'ai juste modélisé un support avec 2 vis de 10mm qui se vissent sur la face supérieure de la boîte des cartes électroniques avec un trou pour insérer le haut-parleur on peut le fixer avec des vis de 3mm

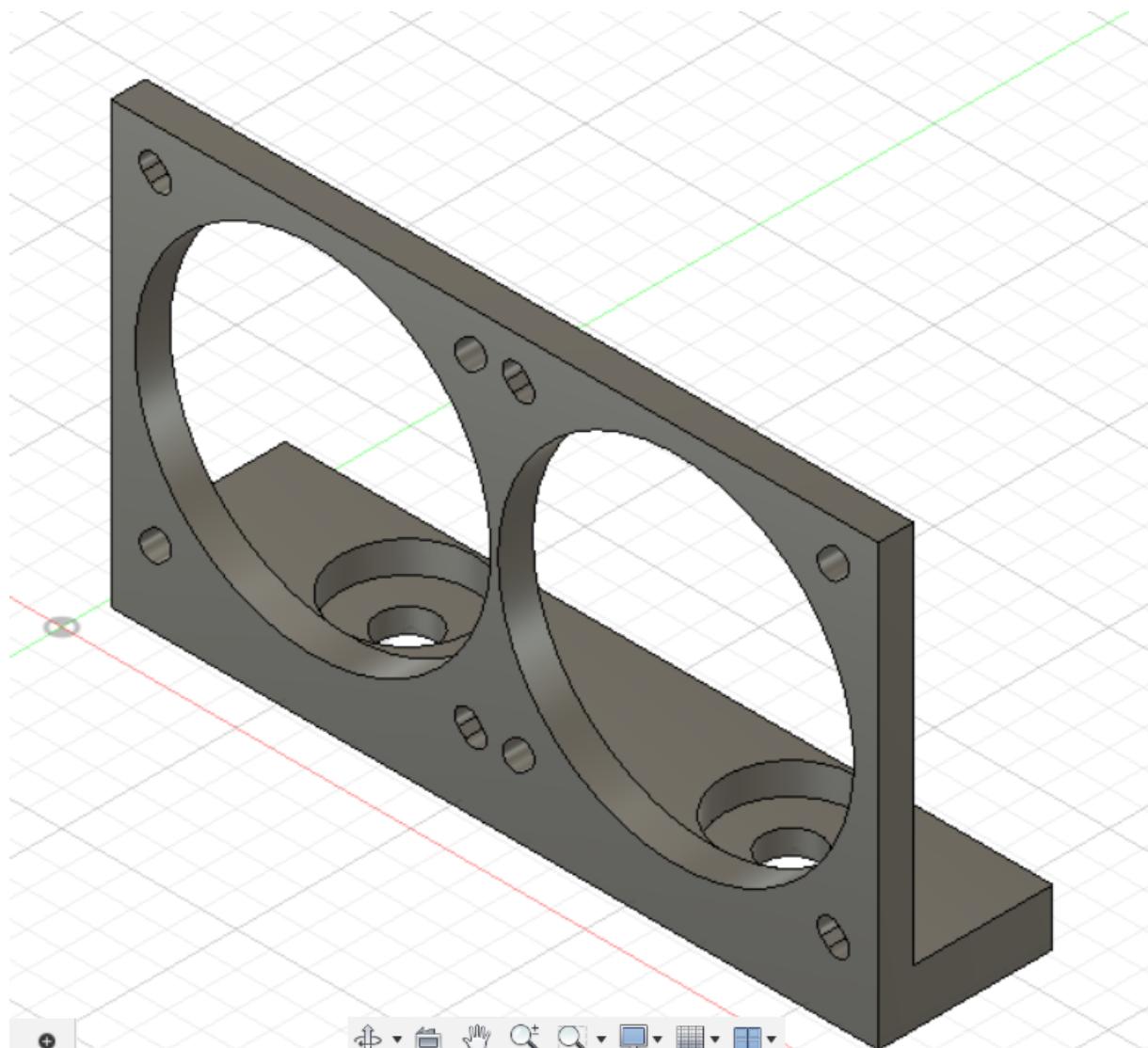


FIGURE 33 – Support pour les hauts parleurs

### 7.1.3 Face avant

Pour la face avant de l'enceinte j'ai eu beaucoup de complications car au début je voulais avoir des fentes sur tout l'espace de la face avant pour que premièrement le son se diffuse mais aussi pour avoir un coté esthétique assez attrayant. Mais ma première difficulté était qu'en dupliquant toutes mes fentes cela utilise toutes les capacités de mon ordinateur et mon logiciel s'interrompt ; j'ai donc essayé sur un pc plus performant mais ce n'était pas l'ordinateur qui manquait de performance mais le logiciel fusion 360... J'ai donc renoncé et j'ai juste mis des fentes au niveau des hauts parleurs. Cette plaque se fixe avec des aimants de 2mm peu puissants mais vu que j'en ai fixé sur tous les cotés du cube, la plaque est assez bien fixée et même avec les vibration du son, la plaque tient

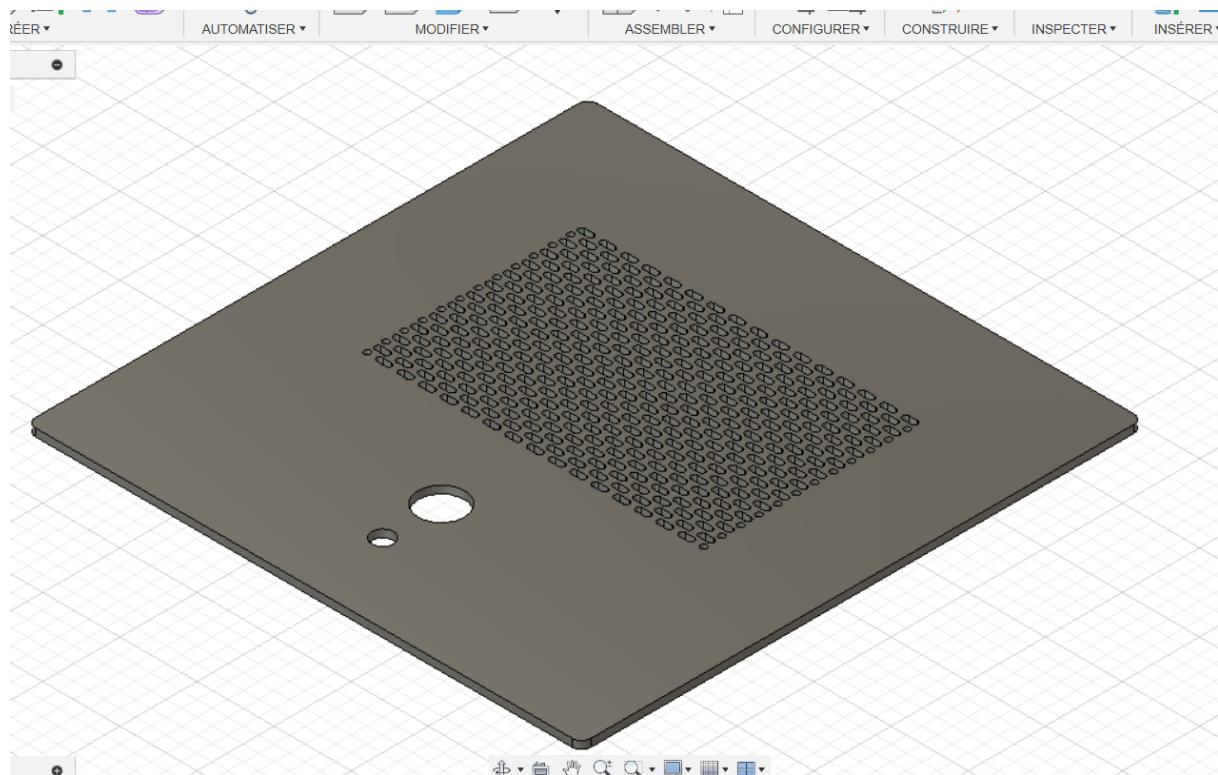


FIGURE 34 – Face avant

## Conclusion

J'ai respecté le cahier des charges en envoyant dans les temps les différents livrables, diagrammes.J'ai effectué un amplificateur de classe D qualitatif réglable avec un affichage du son dynamique déporté. Un boîtier assez design pour le visuel de mon enceinte et le prix est respecté car il devait être en dessous de 150€ et à prendre en compte que si on envoie le prototype à produire en masse on n'utilisera pas de DE-10 Lite mais un composant bien moins cher.

	A	B
		Prix
1		
2	DE-10 lite	100,00 €
3	vis	0,30 €
4	Haut-parleurs	6,87 €
5	Cables	0,20 €
6	Composants	4,00 €
7	Colles	0,10 €
8	Aimants	0,05 €
9	Alimentation 12V 2A	3,00 €
10	Alimentation femelle	0,10 €
11	Cartes	1,00 €
12	Inter ON/OFF	0,10 €
13	Bois	5,00 €
14	0,5kg PLA	10,00 €
15		
16	Amplificateur classe	115,72 €
17	Boîtier	15,00 €
18	Total	130,72 €

FIGURE 35 – Prix total du projet

Pour conclure, j'ai bien aimé dans ce projet, le côté d'être entièrement autonome car cela m'a permis de faire le projet de A à Z, de voir les étapes de réflexion sur les directions du projet, les achats des différents éléments, la conception et l'assemblage. Ensuite, un autre point positif sont les décisions de mon propre chef pour le côté technique, esthétique et les directions à prendre pour ce projet. Au niveau négatif j'ai fait ma carte pour faire du son stéréo mais malheureusement il manquait des composants pour une deuxième carte en pont en H et aussi des composants pour le filtre LC. J'aurais bien aimé avoir plus de temps pour ce projet car j'aurais pu approfondir au niveau du réglage de son et aussi sûrement refaire ma carte "PepeJam" pour avoir le connecteur du téléchargement au niveau de la face arrière.



FIGURE 36 – Rendu final

## Sources

- [] *Explication Ampli classe D.* fr. URL : <https://www.astuces-pratiques.fr/electronique/schema-ampli-classe-d-300w-simple> (visité le 02/04/2024).
- [] *L'influence du matériau sur les supports d'enceintes / Vebos vous explique.* fr. URL : <https://vebos.fr/blog/l-influence-du-materail-sur-les-stands-de-haut-parleurs-dupliques.html> (visité le 10/04/2024).
- [] *Module blue.* fr. URL : <https://www.dfrobot.com/product-2085.html> (visité le 10/03/2024).
- [] *pdf filtre lc.* fr. URL : <https://f-legrand.fr/scidoc/srcdoc/sciphys/arduino/ampliD/ampliD-pdf.pdf> (visité le 28/03/2024).
- [] *stereo signal -> mono signal.* fr. URL : <https://electronics.stackexchange.com/questions/53756/combining-left-and-right-hook-speaker-wires-into-one-speaker> (visité le 28/03/2024).
- [] *video enceinte.* fr. URL : [https://www.youtube.com/watch?v=H4L0xG-Sv9U&ab\\_channel=Abra%C3%A8ge](https://www.youtube.com/watch?v=H4L0xG-Sv9U&ab_channel=Abra%C3%A8ge) (visité le 28/03/2024).
- [] *video pour les bandeau de leds.* fr. URL : [https://www.youtube.com/watch?v=xw8iRNxt-VU&t=338s&ab\\_channel=Abra%C3%A8ge](https://www.youtube.com/watch?v=xw8iRNxt-VU&t=338s&ab_channel=Abra%C3%A8ge) (visité le 28/03/2024).