

# Rapport de suivi du projet Filtroson

---

Groupe JYRRM\*

Mai 2025

---

\*Roman Bouyon (chef de projet), Jaisy Brahimi, Mathias Gallard, Youssef Menessy, Rayan Hamani

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Présentation du groupe</b>	<b>5</b>
2.1	Les membres . . . . .	5
2.1.1	Jaisy Brahimi . . . . .	5
2.1.2	Mathias Gallard . . . . .	5
2.1.3	Roman BOUYON . . . . .	6
2.1.4	Rayan Hamani . . . . .	6
2.1.5	Youssef Menessy . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Réalisation</b>	<b>7</b>
3.1	Filtres . . . . .	8
3.1.1	Filtres FIR . . . . .	8
3.1.2	Filtres IIR . . . . .	11
3.1.3	Transformé de Fourier . . . . .	17
3.2	Filtre Distorsion . . . . .	17
3.3	Filtre hard-Clipping . . . . .	18
3.4	Filtre soft-clipping . . . . .	18
3.5	Filtre tremolo . . . . .	18
3.6	Filtre ring-modulation . . . . .	19
3.7	Filtre bit-crusher . . . . .	19
3.8	Filtre sample-rate-reduction . . . . .	20
3.9	Filtre delay . . . . .	20
3.10	Filtre echo . . . . .	20
3.11	Filtre reverse . . . . .	21
3.12	Filtre Butterworth . . . . .	21
3.13	Egalisation Sonore . . . . .	23
3.14	Interface Utilisateur . . . . .	23

<b>4</b>	<b>Amélioration possible</b>	<b>29</b>
4.1	Filtres . . . . .	29
4.2	Egalisation Sonore . . . . .	30
4.3	Interface Utilisateur . . . . .	30
<b>5</b>	<b>Récit de la réalisation</b>	<b>32</b>
<b>6</b>	<b>Conclusion</b>	<b>33</b>

# 1 Introduction

Ce rapport a pour rôle de suivre l'avancement du projet Filtroson de l'équipe JYRRM pour la dernière soutenance.

Pour rappel dans ce projet, nous nous intéressons aux filtres numérique exclusivement dans le domaine du son. Ils permettront d'avoir une qualité sonore plus optimale ou même surppimer des fréquences indésirables. Le but final étant de pouvoir passer un signal dans un filtre et de constater un changement de ce signal.

En effet l'implémentation de ces filtres sont utilisés dans de nombreux domaines : les logiciels audio, les appareils d'enregistrements, les systèmes de traitement du son en temps réel (concerts, radios, etc ...), et bien d'autres domaines liés à l'audio numérique. Nous utiliserons ainsi les différents filtres implémenter que nous expliquerons plus en détails dans leurs sous parties respectives.

Néanmoins pour poser les bases du filtrage audio nous devons parler de la transformé de Fourier qui est un outil mathématique fondamental en traitement du signal et en acoustique. Elle permet de décomposer un signal temporel en ses composantes fréquentielles, offrant ainsi une analyse en fréquence d'un signal.

## 2 Présentation du groupe

### 2.1 Les membres

#### 2.1.1 Jaisy Brahimi

Je suis un étudiant en deuxième année à l'école d'ingénieur informatique EPITA, à Lyon Part-Dieu.

Ayant une appétence dans le domaine de la finance je viens d'une licence mathématique-informatique et me consacre maintenant à plein temps à une école spécialisée en informatique.

Au sein du groupe JYRRM, j'ai donc pour rôle l'implémentation des filtres numériques et des algorithmes de réduction de bruit.

Ce projet m'a permis de prendre connaissance de tout un aspect technique du filtrage numérique. J'ai fait le choix de rester dans des valeurs sûres pour la fiabilité du projet et donc utilisé les filtres les plus connus pour avoir des filtres fonctionnels lors de la soutenance.

J'ai aussi travaillé sur notre site internet qui contient une présentation du projet et un download du rapport.

#### 2.1.2 Mathias Gallard

Je m'appelle Mathias Gallard et sans grande surprise, je suis passionné d'informatique. J'ai commencé l'informatique en CE2 avec ma découverte de scratch, un langage de programmation graphique en ligne. Par la suite, j'ai continué à développer divers programmes et projets afin de m'améliorer en programmation et d'affiner ma maîtrise de divers langages de programmation tel que le python ou le php par exemple. Pour ce projet, je suis responsable de l'implémentation des filtres et de l'égalisation sonore.

### **2.1.3 Roman BOUYON**

C'est avec plaisir que j'endosse le rôle de chef de projet pour ce groupe. La réalisation de ce projet Filtroson m'attire particulièrement car il s'agit de mon premier projet en Rust et j'espère pouvoir en apprendre beaucoup sur la réalisation d'un logiciel de traitement audio. Pour ce projet je suis responsable de l'implémentation des filtres numériques, de la création du site web et enfin de la conversion d'un signal analogique en numérique.

### **2.1.4 Rayan Hamani**

Je m'appelle Rayan Hamani et je suis étudiant à EPITA Lyon. Passionné par l'informatique et le traitement du signal, je me suis intéressé au domaine de l'audio numérique afin de mieux comprendre et maîtriser les techniques d'égalisation sonore. Pour ce projet, je suis responsable de l'égalisation sonore, en ajustant les fréquences pour améliorer la qualité et la clarté du son.

### **2.1.5 Youssef Menessy**

Je m'appelle Youssef Menessy, étudiant en deuxième année à EPITA Lyon. Au sein de mon groupe de projet, j'occupe le rôle de responsable de l'interface utilisateur et de la réduction de bruit. Mon objectif est de concevoir une interface fluide et intuitive en réduisant efficacement les bruits indésirables. Ce projet est une belle opportunité pour moi d'approfondir mes compétences techniques tout en collaborant étroitement avec mon équipe pour atteindre nos objectifs. Je suis enthousiaste à l'idée de relever ce défi et de contribuer activement à la réussite du projet.

### 3 Réalisation

Dans cette partie nous allons tester les différents filtres implémenter par rapport à un échantillon test nommée "20Hz to 20kHz (Human Audio Spectrum)", visuellement ce signal est représenter comme ceci:

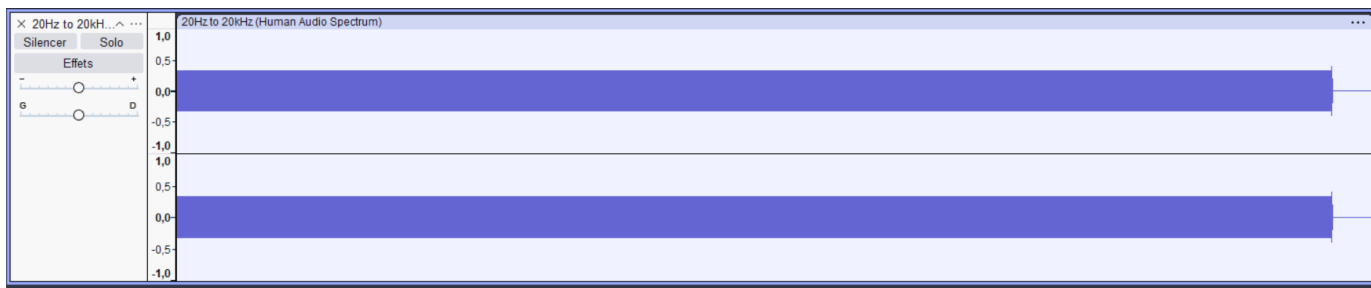


Figure 1: Signal de référence

## 3.1 Filtres

### 3.1.1 Filtres FIR

Dans le cadre du projet Filtroson, nous avons mis en place les bases des filtres FIR (Finite Impulse Response), qui sont connus pour le traitement du signal audio. Ces filtres, caractérisés par une réponse impulsionnelle finie, offrent plusieurs avantages, notamment une stabilité inconditionnelle et un contrôle précis de la phase.

#### **Implémentation et choix méthodologique**

Nous avons opté pour une conception des filtres FIR basée sur la méthode de la fenêtre. Cette approche permet de générer un filtre à partir d'une transformée inverse de Fourier d'une réponse en fréquence idéale, puis de l'affiner à l'aide d'une fenêtre (Hamming, Hanning, Blackman, etc.) afin de minimiser les oscillations indésirables dans le domaine fréquentiel.

#### **L'implémentation en Rust repose sur :**

- La génération des coefficients du filtre à l'aide de formules analytiques adaptées à la réponse souhaitée (passe-bas, passe-haut, passe-bande, coupe-bande).
- L'utilisation de convolutions rapides pour appliquer le filtre sur les signaux audio, optimisant ainsi les performances.
- L'intégration d'une option permettant à l'utilisateur de choisir les paramètres du filtre (fréquence de coupure, type de fenêtre, ordre du filtre).



## Résultats obtenus et perspectives

- **Filtre Passe-Bas**

Les résultats de notre filtre FIR passe-bas sont convaincants, offrant une atténuation efficace des fréquences indésirables tout en préservant la fidélité du signal audio. De plus, grâce à l'utilisation de la fenêtre de Kaiser, nous avons pu affiner davantage les caractéristiques du filtre. Cette fenêtre paramétrable nous permet de contrôler précisément les lobes secondaires de la réponse en fréquence, réduisant ainsi les ondulations en bande passante et en bande atténuée. En ajustant le paramètre beta de la fenêtre de Kaiser, nous pouvons trouver un équilibre optimal entre la largeur de la transition et le niveau d'atténuation des lobes secondaires, améliorant ainsi la qualité globale du filtrage.

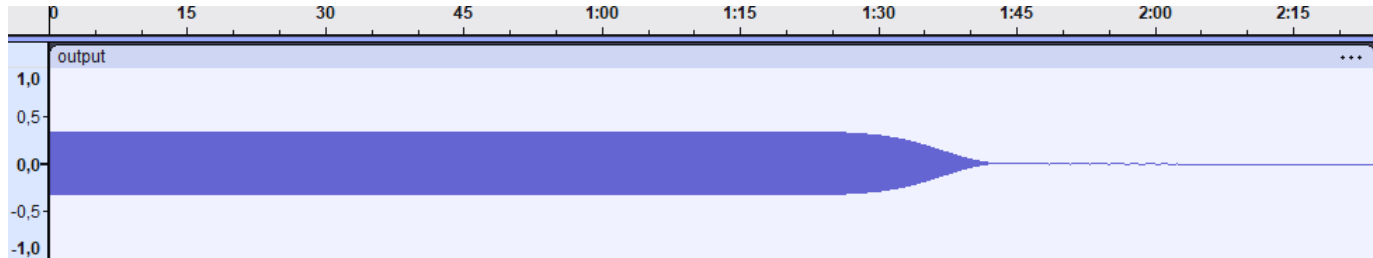


Figure 2: Filtre FIR passe bas

- **Filtre Passe-Haut**

Les résultats de notre filtre FIR passe-haut ne sont pas concluants. Bien que sa conception vise à atténuer les basses fréquences tout en préservant les hautes fréquences, nous constatons que son efficacité est limitée. En effet, malgré l'utilisation de la fenêtre de Kaiser, qui permet théoriquement un contrôle précis des lobes secondaires et une meilleure transition entre les bandes, le filtre ne parvient pas à supprimer correctement les basses fréquences sans altérer la fidélité du signal.

- **Filtre Coupe-Bande et Passe-Bande**

Concernant les filtres Coupe-Bande et Passe-Bande, il est nécessaire pour que ceux-ci fonctionnent, que le filtre Passe-Haut soit efficace. Néanmoins comme ce dernier n'est pas concluants, nous ne pouvons pas implémenté ces deux filtres.

Néanmoins, nous avons décidé de ne pas nous attarder plus sur ce type de filtre . En effet, ces filtres ne sont pas efficaces sur des fichiers audio plus longs. Ainsi, nous avons priorisé les filtres IIR qui, eux, sont moins complexes et plus efficaces sur des fichiers audios plus longs.

### **3.1.2 Filtres IIR**

Pour notre projet Filtroson, nous avons aussi implémenté des filtres IIR (Infinite Impulse Response) en utilisant une structure de filtres biquad, permettant d'obtenir un filtrage efficace avec un faible ordre. Contrairement aux filtres FIR, les filtres IIR possèdent une réponse impulsionnelle infinie, ce qui leur permet d'atteindre une atténuation significative avec moins de coefficients, réduisant ainsi la complexité computationnelle.

#### **Implémentation et choix méthodologique**

L'implémentation des filtres IIR repose sur les étapes suivantes :

- Définition des coefficients à partir des formules basées sur la transformation bilinéaire.
- Utilisation de structures biquad en cascade pour obtenir un ordre de filtre plus élevé.
- Application itérative du filtrage en passant le signal à travers chaque section du filtre.

## Résultats obtenus et perspectives

- **Filtre Passe-Bas**

Les tests montrent une atténuation efficace des hautes fréquences tout en maintenant la fidélité du signal en basses fréquences. Grâce à l'utilisation de filtres biquad, la transition entre les bandes est fluide et sans distorsion marquée.

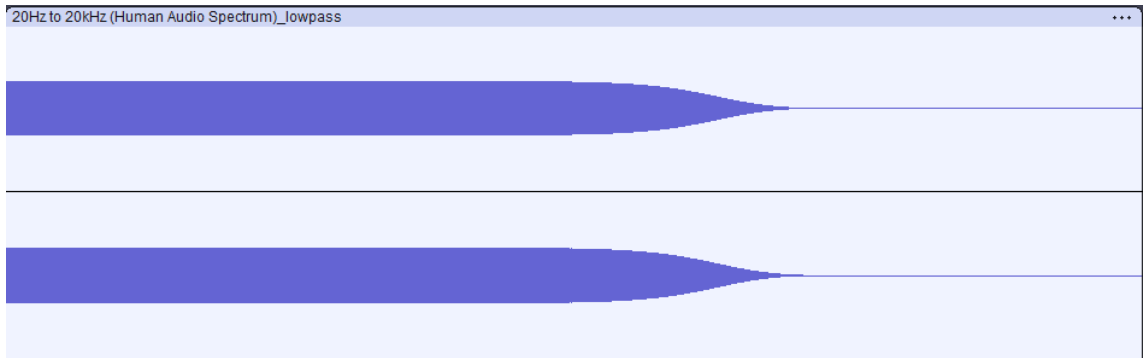


Figure 3: Filtre passe-bas IIR sur un son continue de 20 Hz à 20kHz avec fréquence de coupure 1000 Hz

- **Filtre Passe-Haut**

Ce filtre atténue efficacement les basses fréquences tout en conservant une bonne clarté des hautes fréquences. Il est particulièrement utile pour supprimer les bruits de fond ou améliorer la netteté des signaux audio.

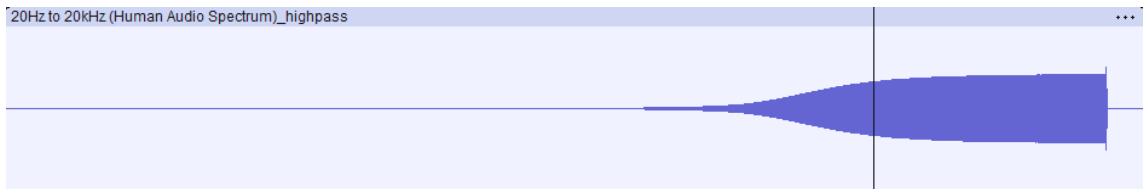


Figure 4: Filtre passe-haut IIR sur un son continue de 20 Hz à 20kHz

- **Filtre Passe-Bande**

L'implémentation passe-bande fonctionne correctement et permet une isolation précise d'une plage de fréquences spécifique. Son efficacité est renforcée par l'utilisation d'une approche en cascade, garantissant une meilleure précision sur les bandes passantes et atténuées.

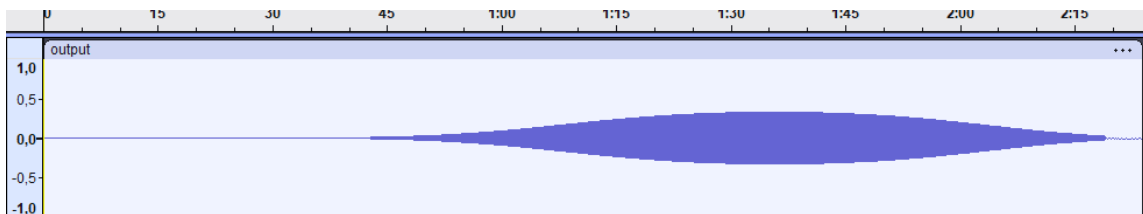


Figure 5: Filtre passe-bande IIR sur un son continue de 20 Hz à 20kHz

- **Filtre Coupe-Bande**

Le filtre coupe bande permet d'atténuer une plage de fréquences. Il est particulièrement utile pour éliminer des interférences spécifiques, comme les bruits de type hum à 50/60 Hz dans les enregistrements audio.

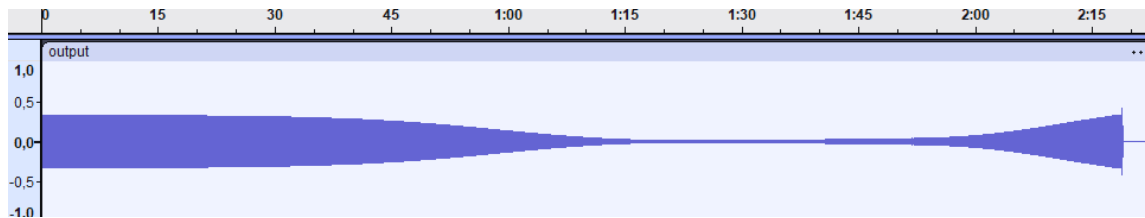


Figure 6: Filtre coupe-bande IIR sur un son continue de 20 Hz à 20kHz

- **Filtre Peak**

Le filtre Peak ou Notch est utilisé principalement pour amplifier ou atténuer une bande de fréquences spécifiques sans affecter le reste du spectre sonore de manière significative. Il sert à renforcer une fréquence précise par exemple pour mettre en valeur une note. Ou alors à réduire une fréquence gênante. Nous avons décidé d'implémenter ce type de filtre car il est particulièrement utile dans un égaliseur paramétrique.



Figure 7: Filtre Peak IIR à la fréquence 1000 Hz avec un gain de 3 dB

- **Filtre Etagères haute**

Ce filtre sert à amplifier ou atténuer toutes les fréquences au-dessus d'une certaine fréquence seuil, tout en laissant les fréquences en dessous relativement inchangées.



Figure 8: Filtre HighShelf IIR à la fréquence 1000 Hz avec un gain de 3 dB

- **Filtre Etagères basse**

Ce filtre à l'inverse du précédent, il sert à amplifier ou atténuer les fréquences en-dessous d'une certaine fréquence seuil.



Figure 9: Filtre LowShelf IIR à la fréquence 1000 Hz avec un gain de 3 dB



### 3.1.3 Transformé de Fourier

L'utilisation de la Transformée de Fourier (TF) pour le filtrage numérique du son est une technique largement adoptée pour analyser et manipuler les composantes fréquentielles d'un signal. Dans le domaine de l'audio numérique, cela permet d'effectuer des opérations comme la suppression du bruit, l'égalisation, et la modification des caractéristiques sonores avec une grande précision.

#### Implémentation et choix méthodologique

- Nous appliquerons la transformée de Fourier sur des segments du signal, généralement découpés en fenêtres de taille fixe.
- Ensuite il y aura un filtrage des fréquences non désirées en modifiant les coefficients fréquentiels obtenus après la transformation.
- Et enfin nous ferons la transformation inverse pour reconstruire le signal filtré et le restituer sous forme audible.

## 3.2 Filtre Distorsion

Ce filtre permet d'amplifier chaque échantillon ( $s * \text{gain}$ ), il sature ensuite le signal avec  $\tanh$ , ce qui crée un effet de distorsion douce, très utilisé en audio numérique.

Enfin le filtre compresse dynamiquement les valeurs extrêmes tout en laissant les faibles amplitudes peu affectées.

### **3.3 Filtre hard-Clipping**

Ce filtre tronque brutalement toutes les valeurs du signal qui dépassent le seuil, vers le haut ou le bas, quand on utilise ce filtre, il coupe brutalement les parties du signal qui sont trop fortes (trop hautes ou trop basses).

À cause de cette coupure nette, le son change : il devient plus brut, agressif, et on entend apparaître de nouveaux sons plus aigus qui n'étaient pas là au départ. Ces sons ajoutés s'appellent des harmoniques, et ici, ils sont forts et très marqués à cause de la coupure brutale.

### **3.4 Filtre soft-clipping**

Ce filtre ne touche pas les sons faibles, il aplati doucement les sons moyens et limite fermement les sons très forts.

Il transforme la forme du signal en arrondissant les bords, ce qui donne un effet de saturation douce et musicale.

Cela donne une distorsion plus naturelle qui évite les coupures nettes comme avec le hard clipping, donc le son reste moins agressif tout en étant modifié.

### **3.5 Filtre tremolo**

Ce filtre tremolo applique un effet de modulation d'amplitude au signal, ce filtre fait varier le volume du son de manière régulière et cyclique :

Quand la sinusoïde vaut 0, le son est muet, quand elle vaut 1 ou -1, le son est à plein volume (positif ou inversé).

Le volume monte et descend rapidement, à la vitesse donnée par rate. C'est exactement l'effet trémolo, très utilisé dans :les guitares électriques,les synthés, et divers effets vocaux

### **3.6 Filtre ring-modulation**

Ce filtre ring-modulation applique un effet de modulation en anneau (ring modulation), un effet audio classique aux sonorités métalliques ou robotiques.

Il mélange un signal d'origine avec une sinusoïde très rapide, cela produit des fréquences nouvelles qui ne sont ni dans le signal d'origine, ni dans l'onde sinusoïdale seule, ça génère un son métallique, robotique, voire désaccordé (en fonction du rate).

### **3.7 Filtre bit-crusher**

Ce filtre simule une réduction de la résolution numérique (bit depth reduction), comme si on "cassait" la qualité du signal en diminuant le nombre de bits utilisés pour coder chaque échantillon. Le filtre diminue la résolution du signal, ce qui crée un effet sonore granuleux, avec des sauts brusques entre les niveaux de volume, c'est un effet très utilisé en musique électronique pour produire un son lo-fi, numérique ou cassé.

### **3.8 Filtre sample-rate-reduction**

Le filtre sample-rate-reduction fait une réduction simple du nombre d'échantillons en sautant des échantillons, ce qui simule une baisse de la fréquence d'échantillonnage.

Ce filtre permet donc de réduire la quantité d'échantillons utilisé.

### **3.9 Filtre delay**

Ce filtre applique un retard avec feedback à un signal audio. C'est une base pour un effet d'écho, le feedback fait que le son retardé est réinjecté dans le délai, créant des échos répétitifs et plus le feedback est élevé, plus les répétitions durent longtemps.

### **3.10 Filtre echo**

Ce filtre applique un effet d'écho simple en ajoutant au signal original une version retardée et atténuée, le son est rejoué un peu plus tard, avec un volume réduit. On entend le son original, puis une répétition atténuée un peu après.

### **3.11 Filtre reverse**

Le filtre reverse prend un signal audio (une liste d'échantillons), inverse l'ordre de tous les échantillons, le résultat est donc le signal joué à l'envers. Il est utile pour créer des effets spéciaux ou expérimentaux.

### **3.12 Filtre Butterworth**

Comme dit précédemment le filtre Butterworth est un type de filtre électronique qui est très utilisé pour sa réponse en fréquence aussi plate que possible dans la bande passante, et pour son atténuation progressive dans la bande de coupure. Ce filtre est souvent utilisé dans des applications où l'on cherche à obtenir une transition douce entre les fréquences passantes et les fréquences atténuées, avec un minimum de distorsion.

Le filtre Butterworth est l'un des filtres les plus courants dans les systèmes audio et de traitement du signal en raison de ses caractéristiques de performance optimales dans de nombreuses situations.

## Applications du filtre Butterworth

Le filtre Butterworth est utilisé dans de nombreuses applications, principalement lorsque la qualité du signal est importante et qu'une atténuation douce des fréquences est nécessaire :

- **Systèmes audio** : Dans les égaliseurs, pour ajuster le niveau de basses ou d'aigus avec une réponse relativement linéaire.
- **Circuits électroniques** : En particulier dans les filtres passifs et actifs pour des applications telles que l'audio, les communications, et l'électronique.
- **Traitement du signal numérique** : Lors de la réduction de bruit ou de l'isolation des différentes gammes de fréquence.
- **Télécommunications** : Pour réduire les interférences et les bruits hors bande dans les signaux.
- **Systèmes de contrôle** : Dans les systèmes de contrôle de processus, pour supprimer le bruit de haute fréquence sans affecter la réponse dynamique.

## Utilité

- **Précision du filtrage** : Permet d'isoler ou de supprimer des bandes de fréquences spécifiques avec une grande finesse.
- **Performance et optimisation** : La transformée de Fourier accélère les calculs par rapport à une convolution directe, surtout pour les signaux longs.

- Meilleure gestion des effets sonores : Utile pour des traitements avancés comme l'égalisation, la réverbération ou la suppression de bruit.

### 3.13 Egalisation Sonore

Concernant l'égalisation sonore, nous avons pu nous avancer grâce à l'implémentation du filtre Peak. Il s'agit d'un égaliseur à 6 bandes dynamiques. C'est-à-dire que nous appliquons 6 filtres Peak sur notre audio à des fréquences différentes et modifiables. Il est possible de changer la zone de fréquence d'application des bandes, cet ajout permet plus de personnalisation et de contrôle sur le son audio pour l'utilisateur.

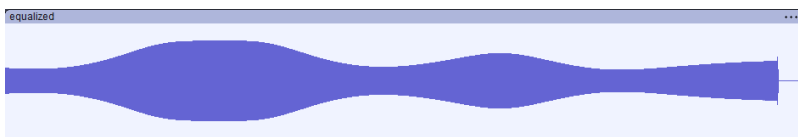


Figure 10: Egaliseur

### 3.14 Interface Utilisateur

Concernant l'interface utilisateur, elle est aujourd'hui presque complète et regroupe l'essentiel des fonctionnalités attendues. L'utilisateur peut charger des fichiers audio, les lire directement depuis l'application et contrôler l'avancement de la lecture grâce à une barre de progression. Bien qu'un bouton dédié au filtrage soit déjà présent dans l'interface, la fonctionnalité n'est pas encore assignée et sera intégrée une fois la réduction de bruit implémentée. L'interface a été pensée pour offrir une expérience utilisateur fluide et intuitive tout en rendant les principales fonctionnalités facilement accessibles. Malgré l'absence de graphiques visuels pour représenter le signal audio ou les effets des filtres, tous

les filtres sonores présents dans l'interface peuvent être appliqués avec succès. L'utilisateur peut sélectionner un filtre parmi ceux proposés (HighShelf, LowShelf, PassBand, CutBand, HighPass, LowPass, Peak-Boost) et configurer ses paramètres, tels que la fréquence de coupure (**fc**) et le gain (**bass\_gain**).



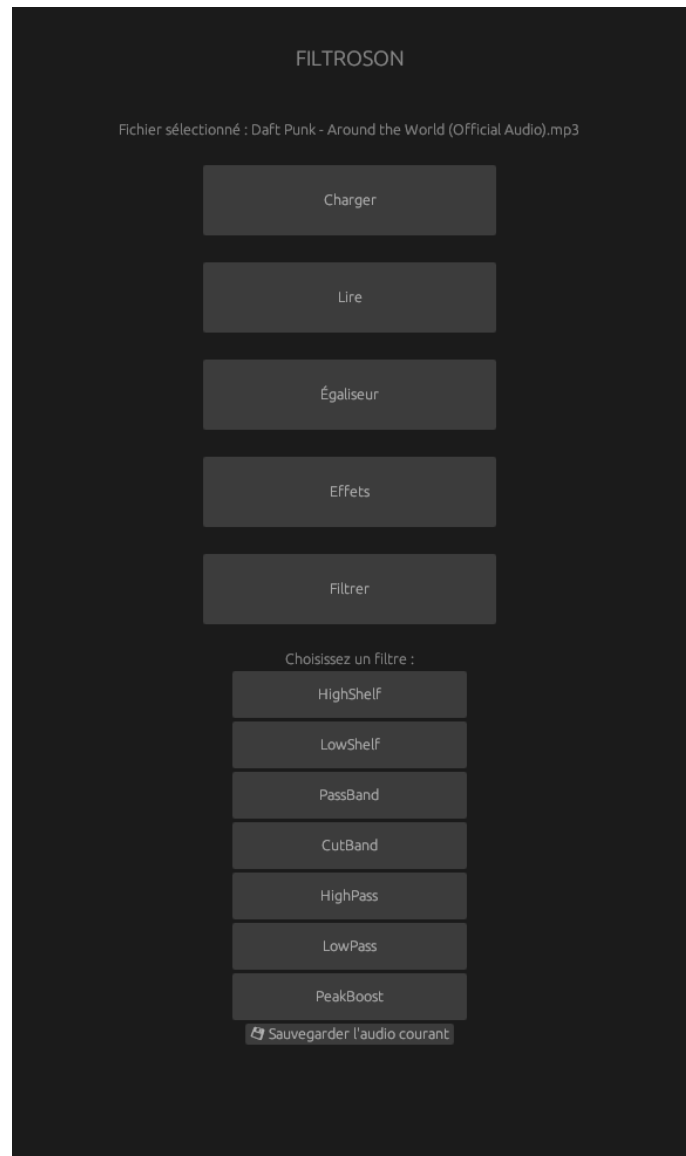


Figure 11: Page principale de l'application



Figure 12: Configuration personnalisée d'un filtre avec les paramètres `fc` et `bass_gain`

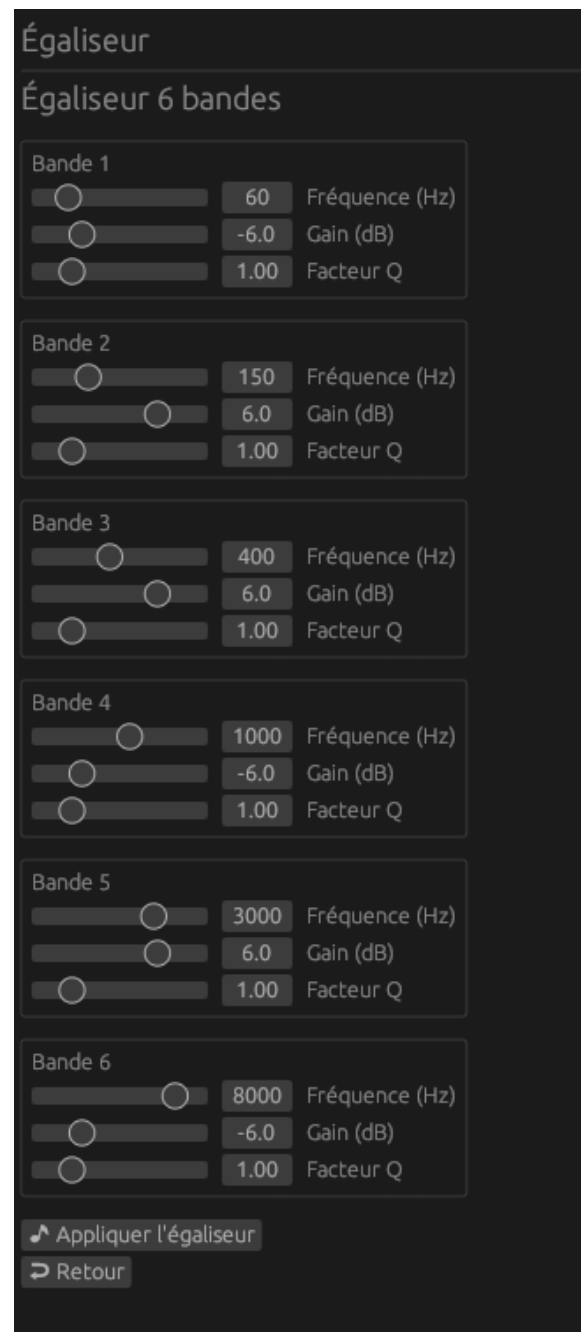


Figure 13: Egaliseur à 6 bandes dynamiques



Figure 14: Plusieurs effets disponibles

## 4 Amélioration possible

### 4.1 Filtres

Bien que le projet Filtroson propose déjà une large gamme de filtres numériques, incluant notamment des filtres à réponse impulsionnelle finie (FIR) et infinie (IIR), plusieurs pistes d'amélioration peuvent encore être envisagées pour enrichir l'expérience utilisateur et renforcer les capacités de l'application.

Une première amélioration possible serait l'ajout d'un affichage visuel en temps réel, tel qu'un spectrogramme ou une analyse de fréquence, permettant de visualiser l'effet des filtres appliqués sur le signal audio. Cela rendrait l'outil plus interactif et pédagogique.

Nous pourrions également améliorer la personnalisation des paramètres pour chaque filtre, en permettant un contrôle plus fin et dynamique (par exemple via des courbes ou des sliders en temps réel). Cette flexibilité offrirait aux utilisateurs un plus grand contrôle sur le rendu sonore.

Une autre piste serait de permettre le chaînage de plusieurs filtres, afin que les utilisateurs puissent combiner plusieurs effets dans un ordre personnalisé, créant ainsi des traitements audio plus complexes et créatifs.

Enfin, il serait intéressant d'intégrer des filtres adaptatifs, capables de modifier automatiquement leur comportement en fonction des caractéristiques du signal (par exemple, un filtre qui s'ouvre plus à mesure que l'intensité sonore augmente).

Ces évolutions rendraient Filtroson encore plus puissant, polyvalent et attractif, notamment pour un usage avancé ou professionnel..

## 4.2 Egalisation Sonore

Notre égaliseur est fonctionnel. Nous avons un égaliseur à 6 bandes dynamiques ce qui est efficace et modifiable. Nous aurions aimé augmenter ce nombre pour pouvoir modifier plus précisément les audios. Enfin nous pourrions ajouter un affichage visuel.

## 4.3 Interface Utilisateur

Il n'y a pas réellement eu de retard majeur concernant la mise en place de l'interface graphique, cependant, sa réalisation a nécessité un investissement conséquent en termes de temps et d'efforts. Cela s'explique par la complexité des nombreux ajustements qui ont dû être apportés afin de garantir une expérience utilisateur à la fois fluide, intuitive et agréable. Chaque élément visuel a été soigneusement réfléchi, puis intégré dans le programme de manière cohérente avec la logique interne de l'application, ce qui a demandé une coordination étroite entre les aspects visuels et fonctionnels. Parmi les défis rencontrés figurent la gestion dynamique des éléments de l'interface en fonction des actions de l'utilisateur, l'adaptation des composants à différentes tailles de fenêtres, et l'optimisation de l'interactivité pour minimiser les latences. Il a aussi fallu concevoir une navigation claire entre les différentes pages (accueil, lecteur, filtres) et garantir la réactivité des boutons, sliders et autres contrôles. Au final, l'interface couvre l'ensemble des fonctionnalités prévues pour le projet. L'utilisateur peut charger un fichier audio, le lire, appliquer des filtres sonores personnalisables à l'aide de paramètres ajustables, et naviguer librement dans l'application. Tous les filtres implémentés dans le cœur du programme sont représentés dans l'interface et peuvent être sélectionnés et appliqués avec facilité. Chaque action déclenchée par l'utilisateur est immédiatement reflétée dans le comportement de l'application, ce qui renforce la sensation de contrôle et de fluidité. Cependant, un aspect important qui n'a

malheureusement pas pu être implémenté dans le temps imparti est l'ajout de représentations graphiques du signal audio. Il était initialement prévu d'intégrer des visualisations telles que des formes d'ondes ou des spectrogrammes, permettant à l'utilisateur de voir en temps réel l'impact des filtres appliqués sur le signal sonore. Ces graphiques auraient constitué un enrichissement majeur de l'interface, en fournissant un retour visuel clair sur les transformations effectuées. Malheureusement, les contraintes de temps et la complexité technique de cette fonctionnalité ont conduit à son report. Malgré cette limitation, l'interface actuelle est pleinement fonctionnelle et offre une interaction riche avec les éléments essentiels du projet. Elle constitue une base solide qui pourrait être facilement étendue à l'avenir pour intégrer les fonctionnalités graphiques manquantes, une fois que les contraintes techniques auront été levées.

## 5 Récit de la réalisation

Dans ce projet, la plus grande difficulté que nous avons rencontrée a été la répartition des tâches et la cohésion au sein du groupe. Au début, il était parfois compliqué de s'organiser efficacement, de bien communiquer nos idées et de trouver un rythme de travail commun. Chaque membre avait ses propres méthodes et attentes, ce qui a parfois créé des incompréhensions.

Par ailleurs, développer une interface graphique fonctionnelle et agréable à utiliser s'est également avéré être un véritable défi. Trouver le bon équilibre entre ergonomie, esthétique et simplicité n'a pas été facile, mais nous avons appris à itérer et à prendre en compte les retours pour améliorer l'expérience utilisateur.

Cependant, au fil du temps, nous avons réussi à surmonter ces obstacles en cherchant à mieux nous écouter, à respecter les compétences et les préférences de chacun, et à ajuster notre organisation. Cette expérience nous a permis de trouver un équilibre qui a renforcé notre collaboration.

Au final, ce travail collectif nous a beaucoup appris sur la dynamique de groupe, l'importance du dialogue, de la patience et de la flexibilité pour mener à bien un projet commun, ainsi que sur les défis liés à la conception d'interfaces intuitives et fonctionnelles. Nous repartons avec une meilleure compréhension de ce que signifie vraiment travailler en équipe.



## 6 Conclusion

Au cours de ce projet, nous avons exploré la conception et l'implémentation de filtres numériques, qui sont des outils essentiels en traitement du signal audio. Les filtres numériques permettent de modifier un signal sonore en accentuant, atténuant ou transformant certaines fréquences, afin de créer divers effets et d'améliorer la qualité ou la créativité sonore.

Cette expérience nous a permis de mieux comprendre les principes mathématiques et techniques qui sous-tendent ces transformations, ainsi que les enjeux liés à leur mise en œuvre. Nous avons appris à manipuler les données audio de manière précise et efficace pour obtenir les résultats souhaités.

Par ailleurs, ce projet nous a confrontés à des défis humains, notamment la répartition des tâches, la cohésion du groupe, ainsi que la réalisation d'une interface graphique à la fois fonctionnelle et agréable à utiliser. Ces difficultés ont renforcé notre capacité à collaborer, à communiquer et à nous adapter.

En résumé, ce projet a été une opportunité précieuse pour approfondir nos compétences techniques en traitement du signal tout en développant notre esprit d'équipe, des qualités indispensables pour réussir dans le domaine du développement logiciel.