



RAPPORT de stage

Master « Sciences et Numérique pour la Santé »

Délivré par l'**Université de Montpellier**

Préparé au sein de l'**INRIA CAMIN**

Spécialité : **Ingénierie des Dispositifs pour la Santé**

Présenté par **BLANQUINQUE JÉRÉMY**

TITRE DU PROJET

Limiteur de volume pour casque audio

Durée du projet : 08/11 au 03/12

Encadrants de projet :

- AZEVEDO COSTE Christine
- PISSARD-GIBOLLET Roger
- SIJOBERT Benoit

Table des matières

I.	Introduction	3
	1. Contexte et définition du projet	3
	2. Objectifs et cibles du projet	3
II.	Contexte physique de l'étude	4
	1. Le décibel et les pondérations	4
	2. L'encodage audio, la transmission et le stéréo	5
	3. Fonctionnement des compresseurs et limiteurs	8
III.	État de l'art des solutions existantes	11
	1. Les casques limiteurs de volume	11
	2. Les dispositifs limiteurs de volume	12
IV.	Montages et expérimentations	15
V.	Conclusion	21
VI.	Remerciements	21
VII.	Bibliographie	22

I. Introduction

1. Contexte et définition du projet

L'équipe Inria CAMIN [1] mène une action exploratoire, nommée Humanlab inria (HLI) [2], qui a pour ambition de créer un modèle de collaboration entre l'INRIA et les Humanlabs. Les Humanlabs sont des espaces collaboratifs de fabrication numérique ou de réparation d'objets, ouverts à des personnes présentant un handicap pour leur permettre de s'approprier la technologie pour leur usage propre.

Ce projet s'inscrit dans cette collaboration entre l'action exploratoire et le Humanlab Saint-Pierre situé à Palavas [3] sur un projet de limiteur de volume pour casque audio, destiné à un adolescent atteint d'autisme. En effet, ce dernier ne se rend pas toujours compte du volume d'écoute de sa musique, d'où le besoin de limiter électroniquement le volume. L'adolescent a pour habitude d'écouter de la musique grâce à un casque audio filaire branché directement à une chaîne Hi-Fi ou un ordinateur.

Outre le fait de l'autisme de l'adolescent, écouter de la musique à fort volume est dangereux pour la perception auditive de tous. En effet, d'après un article des laboratoires Unisson [4], écouter de la musique trop fort est dangereux pour l'oreille interne de l'humain, surtout sur de longues durées. De graves symptômes et séquelles peuvent alors apparaître, comme des fatigues auditives (bourdonnements et acouphènes), de l'hyperacousie (le son devient gênant voire douloureux) et même une surdité irréversible. Les normes de santé définissent alors le seuil à 85dB maximum pour une écoute inférieure à 8 heures, en sachant que les téléphones modernes peuvent naturellement proposer des écoutes à plus de 100dB en affichant simplement un message dissuasif.

2. Objectifs et cibles du projet

Il existe une multitude de casques pour enfants avec ce qu'on appelle un « limiteur de volume », souvent basé à 85dB SPL (Sound Pressure Level, correspondant à la pression sonore maximale). Cependant, il est rare de trouver sur le marché des casques grand public avec un limiteur de volume intégré aussi important, ils sont souvent aux alentours des 95-100 décibels, ce qui reste bien trop élevé pour le cadre de notre étude.

L'objectif du projet sera donc d'établir un dispositif électronique externe pour moduler directement le signal reçu par le casque à la sortie de l'ordinateur et/ou de la chaîne Hi-Fi. Pour cela, le projet se décomposera en plusieurs étapes : tout d'abord un état de l'art des solutions grand public et professionnelles contenant des limiteurs de volumes, puis proposer des solutions plus ou moins génériques dans le domaine du Do It Yourself (DIY) et si possible vérifier l'adaptabilité des solutions pour par exemple une connexion filaire ou Bluetooth du dispositif audio. Pour cela, on utilisera un

logiciel de simulation électronique nommé LTSpice pour expérimenter et simuler le dispositif, qui pourra potentiellement être prototypé puis développé.

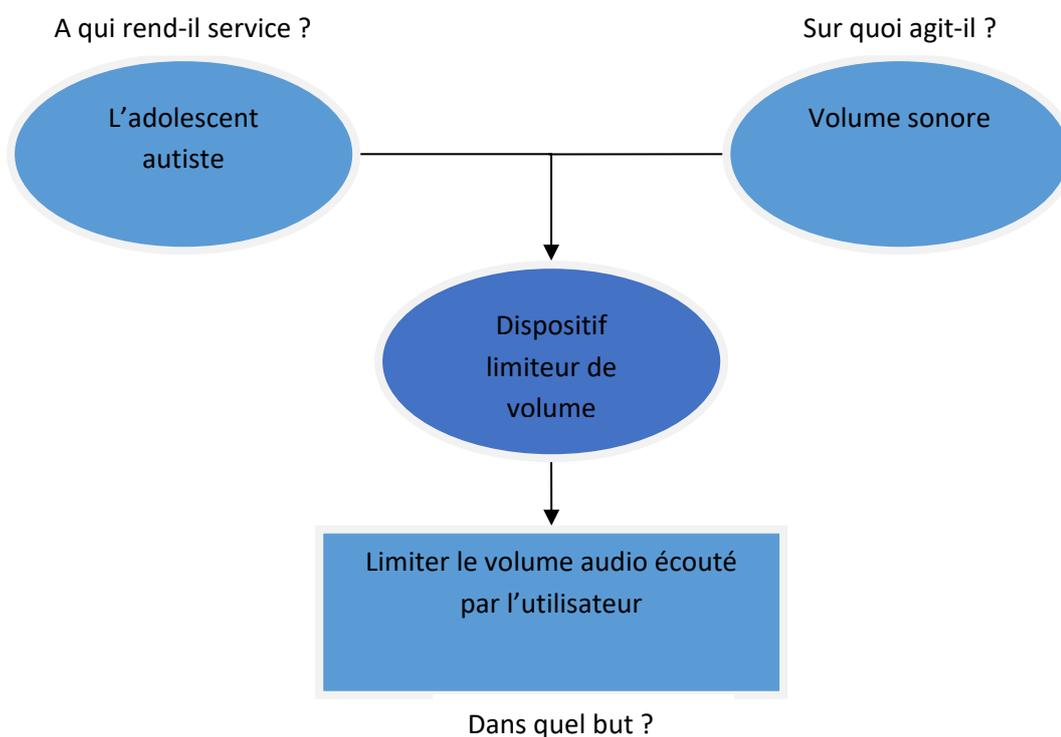


Figure 1 : Diagramme bête à cornes du dispositif

Les contraintes seront alors, de par l'analyse de l'état de l'art, d'expérimenter et de prototyper un dispositif permettant de limiter le volume d'écoute de l'utilisateur à un seuil de 85 décibels maximum. Le dispositif doit être dans une gamme de prix raisonnable et pour rester dans l'optique et la démarche des HumanLabs, le dispositif doit être reproductible, simple d'utilisation et de conception (démarche du Do It Yourself).

II. Contexte physique de l'étude

1. Le décibel et les pondérations

Que ce soit en électronique ou en musique, la mesure du son se fait grâce à l'unité du décibel. Il s'agit en effet d'une échelle logarithmique représentant le niveau d'intensité acoustique défini par la formule suivante : $L_{dB} = 10 \cdot \text{Log}(I/10^{-12})$.

Où I est l'intensité d'un son perçu en un point en Watts/mètre² et Log le logarithme décimal en base dix.

Cependant, on utilise fréquemment des pondérations de fréquences [5] pour décrire les niveaux sonores selon des normes bien précises. Par exemple, la plus fréquemment utilisée est la pondération A de la norme CEI 61672-1 « Électroacoustiques – Sonomètres » qui a été établie pour tenir compte de la sensibilité moyenne, à un faible volume sonore, des personnes ayant une audition considérée comme normale pour chaque bande de fréquences. Il existe ainsi plusieurs pondérations pour décrire les dispositifs audio, que ce soit les casques mais aussi les enceintes, haut-parleurs, chaîne Hi-Fi etc.

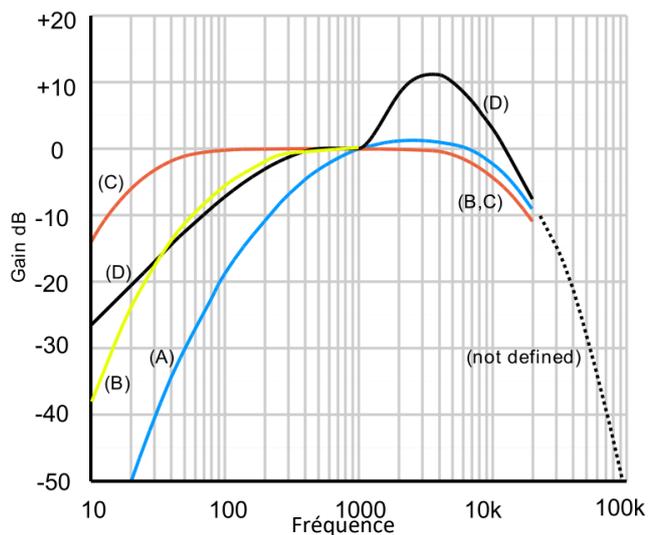


Figure 2 : Diagramme des pondérations (A, B, C, D)

On peut donc constater sur le diagramme de la figure 2 que la pondération A ne prend très peu en compte les basses fréquences, ce qui correspond à la sensibilité de l'oreille pour les sons à faible volume sonore, alors que par exemple les pondérations C et D prennent un peu plus en compte les basses fréquences, elles sont notamment utilisées dans des environnements où le volume sonore est beaucoup plus élevé.

2. L'encodage audio, la transmission et le stéréo

La majorité des musiques d'aujourd'hui sont écoutées sur des supports numériques. Ainsi, elles ont été échantillonnées à une fréquence fixe et sont stockées selon le format de fichier audio voulu. Les différents formats de codage audio dérivent d'études psychoacoustiques, ils sont donc utilisés pour limiter la quantité d'informations dans le signal de façon à réduire le débit et le poids du fichier en tenant compte de la perception humaine des sons. Ils permettent aussi de stocker des métadonnées, comme le titre, le nom de l'artiste et de l'album, etc. Il en existe une multitude mais le plus connu et utilisé de nos jours est le format mp3.

Ainsi, lors de la transmission filaire de la musique vers notre dispositif, il sera important de savoir si elle est analogique ou numérique et si le traitement qu'on souhaite lui appliquer se fera dans le domaine analogique ou numérique pour une transmission filaire ou non filaire. De nos jours, la majorité des communications se font grâce à une connexion électrique coaxiale, plus communément appelée prise Jack. Cette dernière permet une communication analogique de notre signal, transportant à la fois la piste gauche et la piste droite de notre musique (figure 3).



Figure 3 : Connectique prise Jack

La transmission numérique quant à elle s'effectue majoritairement grâce aux protocoles Ethernet, CPL, Wi-Fi ou USB. Pour la musique ou plus généralement pour le son, on utilise le plus souvent le protocole USB, de par sa simplicité et sa standardisation. En effet, il permet à la fois de transporter les données de la musique mais aussi de l'énergie pour alimenter les dispositifs utilisés, comme on peut le constater sur la figure 4 avec la broche +5V pour l'énergie et les broches D+ et D- pour les données.

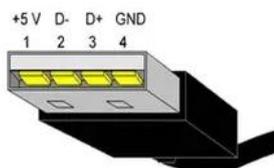


Figure 4 : Connectique prise USB

Les passionnés de musique quant à eux préfèrent la transmission par fibre optique, déjà disponible sur la plupart des amplificateurs et téléviseurs. En effet, la transmission par fibre optique permet une vitesse et donc un débit de transmission bien plus élevé que par câble en cuivre en addition d'un signal moins bruité.

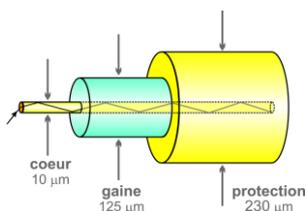


Figure 5 : Connectique prise optique

Une grande majorité des dispositifs audio (casques, enceintes) est désormais disponible dans le commerce possédant une connexion et/ou une transmission sans fil. En effet, les technologies sans fil (Bluetooth, Wi-Fi) sont très utiles, moins encombrantes et moins fragiles que les fils (surtout pour la fibre optique). Ainsi, dans le cadre de notre étude, nous pourrions se pencher sur un dispositif pouvant à la fois fonctionner en sans fil pour les casques utilisant seulement cette technologie.

Mais pour l'instant, le défi sera de réaliser un limiteur de volume en transmission filaire analogique ou numérique, et un autre défi est la capacité à pouvoir traiter à la fois la piste gauche et la piste droite du signal. En effet, on peut observer ces deux pistes en ouvrant la musique avec un logiciel de montage audio comme observé sur la figure 4 ci-dessous. On peut aussi retrouver d'autres informations importantes comme la fréquence d'échantillonnage (48kHz ici) ainsi que le nombre de bits par échantillon.

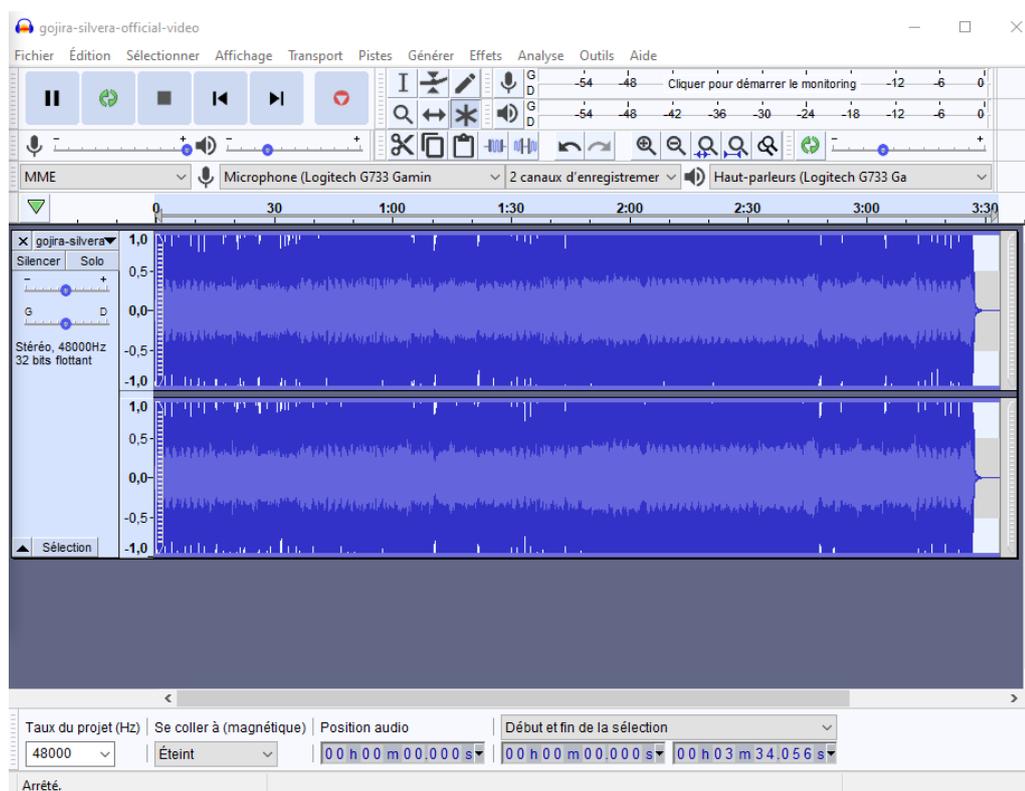


Figure 5 : Musique ouverte grâce au logiciel Audacity

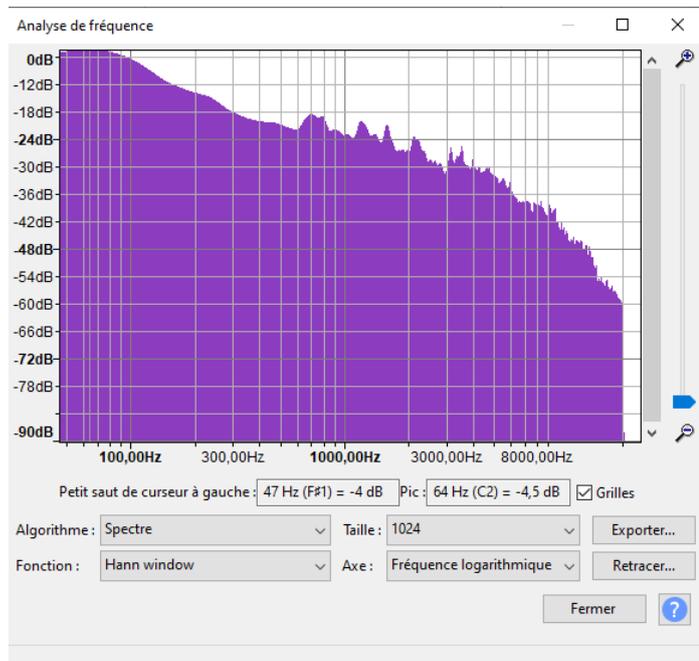


Figure 6 : Analyse fréquentielle du signal

De plus, comme pour les pondérations précédemment vues, on peut observer que les encodages audio modulent les signaux selon l'audition humaine. Ainsi, ils coupent à partir d'une certaine fréquence le signal, permettant aussi un stockage plus simple. On peut donc remarquer sur la figure 5 que l'encodage mp3 coupe les fréquences supérieures à 10kHz, ce qui représente le très aigu dans le domaine musical.

3. Fonctionnement des compresseurs et limiteurs

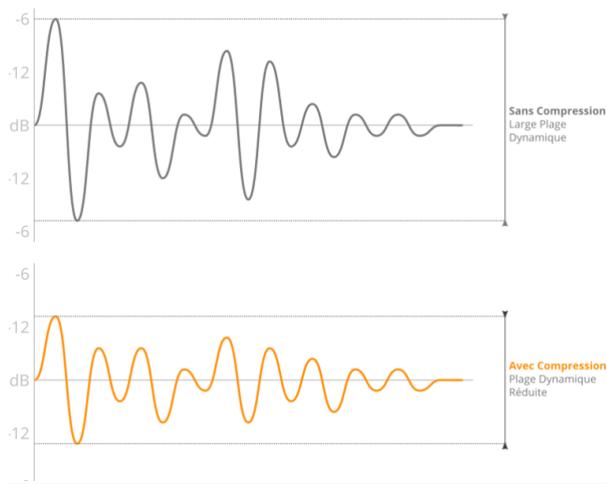


Figure 7 : Représentation graphique d'un compresseur

En musique et plus particulièrement en mixage, les professionnels utilisent déjà des compresseurs et des limiteurs [6] pour égaliser les différentes pistes des instruments et des voix pour obtenir un

rendu agréable à l'oreille, c'est ce qu'on appelle le Mastering (figure 6). Ces compresseurs et limiteurs peuvent être soit simplement numériques dans des logiciels de productions de musique (FL Studio par exemple) ou alors pour du mixage analogique qui sont souvent inclus dans les amplificateurs ou préamplificateurs. Dans les deux cas, l'utilisation de ces compresseurs et limiteurs sont essentiels et reposent sur quatre paramètres : le Threshold (seuil), le ratio, le knee (coudure), l'attack et la release.

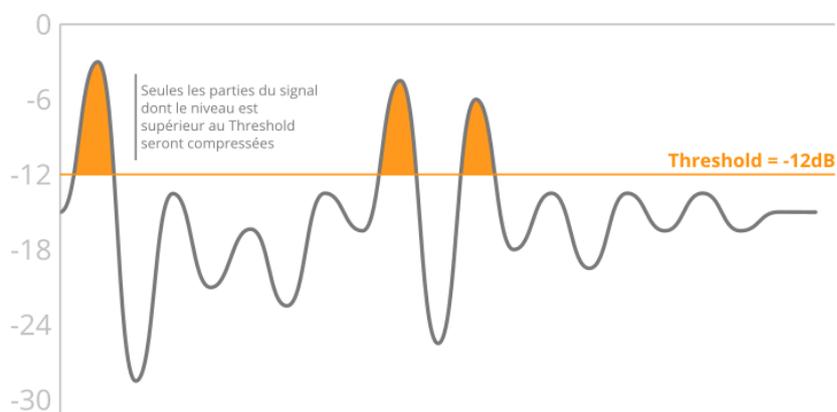


Figure 8 : Représentation du Threshold

Ainsi, le Threshold, ou seuil en français, est simplement le niveau en décibels à partir duquel le compresseur dynamique commence à fonctionner et donc atténuer le signal. Par exemple sur la figure 7, avec un seuil à -12dB, toutes les crêtes au-dessus de ce seuil vont être compressées.

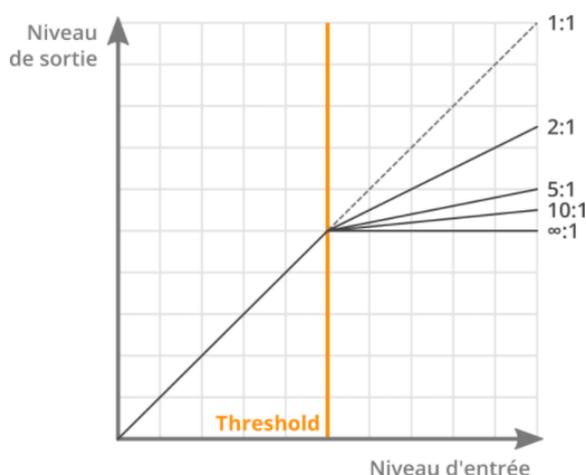


Figure 9 : Représentation du Ratio

Le ratio est un des paramètres les plus intéressants du compresseur. Car en effet, il représente la quantité de compression audio appliquée au signal pour les crêtes ayant dépassées le Threshold. Par exemple, pour un ratio de 4 :1, le signal dépassant le Threshold de 4 décibels sera atténué à 1 décibel au-dessus du seuil. Ce qui nous intéresse pour notre étude, c'est que si le ratio est de ∞ :1, le compresseur fonctionne alors en limiteur et tout ce qui dépasse un certain seuil de décibels sera atténué pour ne pas dépasser ce seuil (dans notre cas : 85dB).

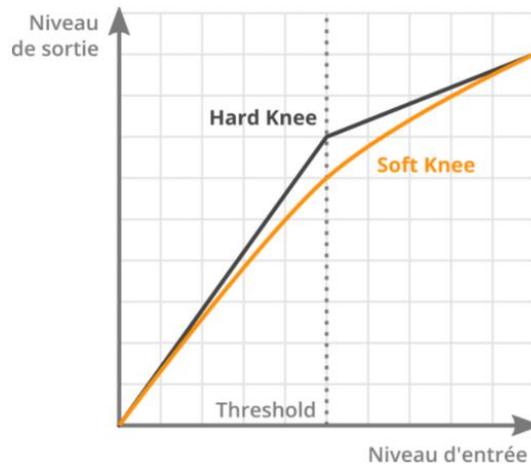


Figure 10 : Représentation du knee

Le knee, ou la coudure en français, représente la façon dont le signal sera compressé une fois le seuil dépassé. Comme montré sur la figure 9, il peut être défini comme « hard » et ainsi couper brusquement le signal ou « soft » permettant une courbure et ainsi moins déformé le signal.

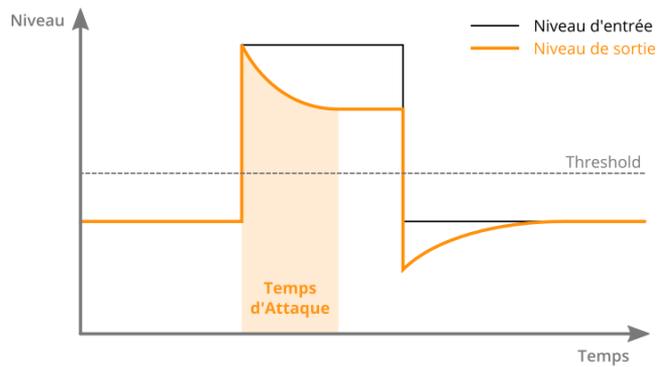


Figure 11 : Représentation de l'Attack

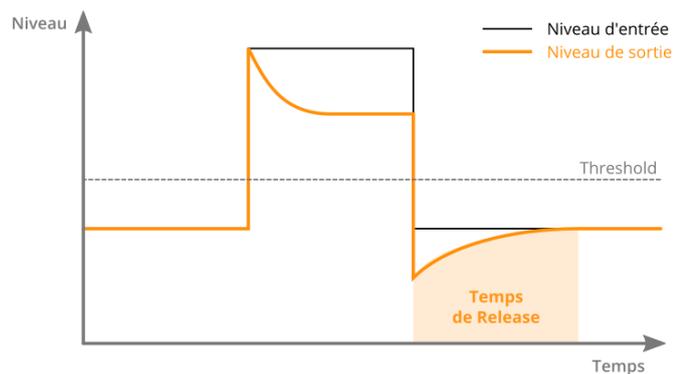


Figure 12 : Représentation de la Release

Les paramètres de l'Attack et de la Release sont des paramètres temporels du compresseur. En effet, ils représentent le fonctionnement au cours du temps de ce dernier en modifiant les courbures de compression. L'Attack représente alors le temps mis par le compresseur pour compresser le signal au niveau déterminé par le ratio (par exemple sur la figure 10, le ratio est de 2 : 1). La release quant à elle est le temps mis par le compresseur pour arrêter de fonctionner dès lors que le signal est retombé en-dessous du Threshold.

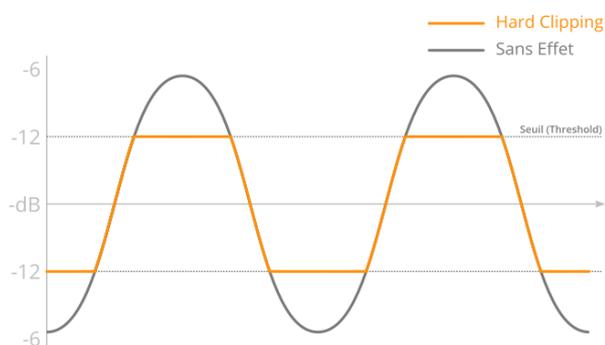


Figure 13 : Représentation du Hard Clipping

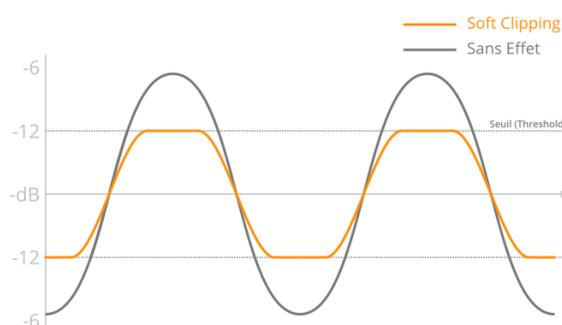


Figure 14 : Représentation du Soft Clipping

Il existe aussi deux autres méthodes, plus simples, de compression pouvant nous être utiles. Il s'agit du « Soft » ou du « Hard » Clipping, coupure en français. Ces méthodes reprennent le principe d'un compresseur basique mais simplement avec un seuil qui, une fois dépassé, va couper tout ce qui le dépasse. Le soft Clipping permet une coupure moins nette du signal en rendant le signal continu.

III. État de l'art des solutions existantes

Pour répondre aux objectifs de notre étude, il nous faut un dispositif qui permette de limiter le volume sonore. Il peut ainsi s'agir du casque audio en lui-même, ou alors d'un dispositif externe qu'on viendra brancher entre la sortie audio et le casque. Une autre piste serait une solution logicielle à notre problème, mais cela fonctionnera uniquement avec un lecteur média d'un ordinateur ou d'un téléphone.

1. Les casques limiteurs de volume



Figure 15 : EasySMX Casque audio enfant avec limiteur de volume

Comme mentionné dans la partie « objectifs du projet », il existe une multitude de casques pour enfants avec un limiteur de volume intégré au seuil de 85dB recommandés par les normes de santé, comme celui représenté à la figure 15. Ils sont très peu coûteux (entre 15€ et 30€) mais ne conviennent évidemment plus à un adolescent de par sa taille, son design, son ergonomie, sa qualité sonore...

Il existe alors des casques pour adultes avec des limiteurs de volume. Pour exemple, celui de la figure 16 possède un limiteur de volume au seuil de 96dB, ce qui est donc beaucoup trop élevé pour nos objectifs du projet. De plus, le prix est quant à lui bien plus élevé : il dépasse souvent les 100€. Un autre point négatif est qu'il s'agit de casques professionnels donc les connexions ne sont souvent pas les mêmes, il faut donc des adaptateurs en plus. Enfin, un casque audio sera difficilement reproductible dans une démarche de DIY.



Figure 16 : Beyerdynamic DT-770 Pro avec limiteur de volume

2. Les dispositifs limiteurs de volume

Une des premières solutions potentiellement envisageables est une solution logicielle (figure 18) téléchargeable sur téléphone, gratuite et simple d'utilisation. En effet cette application permet de plusieurs façons moduler les volumes sortants du téléphone, comme par exemple en choisissant les sorties audio (casque pour la musique, haut-parleur pour les appels) et permet aussi de modifier le volume de chaque application. La dernière fonctionnalité utile est qu'elle permet d'imposer une limite aux volumes de sortie. Le problème étant que notre utilisateur a pour habitude d'écouter de la musique via une chaine Hi-Fi, cette solution pourra quand même lui servir dans lors de l'utilisation d'un téléphone portable.

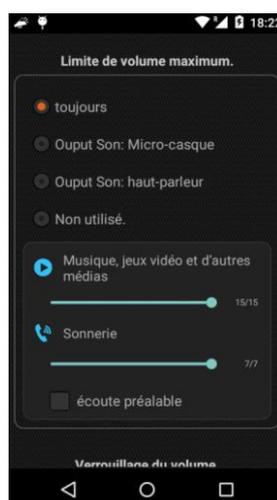


Figure 17 : Application limiteur de volume

Dans certains domaines où l'utilisation de casque audio est fréquente comme l'audiovisuel, le journalisme, les centres d'appels etc., la majorité des employés sont incités à utiliser ce genre de dispositif pour protéger les utilisateurs de casques des niveaux excessifs. Ils sont alimentés par le signal audio lui-même, ils sont simples d'utilisation et de branchement, comme par exemple le modèle Canford à la figure 18. Cependant ce dispositif présente plusieurs problèmes liés à notre étude : tout d'abord tout les casques ne sont pas éligibles pour la bonne réduction du bruit, de plus il faut que chaque casque soit testé individuellement pour calibrer la limitation sonore, ce qui augmente considérablement le prix d'installation. Enfin, la faisabilité et la reproductibilité de l'installation et de la conception pour notre projet sera compliquée.



Figure 18 : Canford – Limiteurs pour casques audio

Une solution plus universelle et modulable possible est celle de la figure 19. Il s'agit du même fonctionnement que le dispositif électronique précédent sauf que celui-ci est compatible avec tout type de casque et il n'y a pas besoin de calibration. Cependant le prix est bien plus élevé (200€), mais il s'agit de la meilleure solution pour l'instant trouvée. Comme il s'agit d'une « boîte noire », il ne pourra pas répondre à nos contraintes de reproductibilité mais on peut désormais orienter notre étude dans l'objectif de reproduire ce dispositif à des frais réduits, avec des composants électroniques facilement acquérables.



Figure 19 : LIM100 Limiteur de niveau pour casque

On va donc désormais se focaliser sur une transmission filaire analogique (prise Jack) de la musique et d'un traitement entièrement analogique de notre signal, le but final étant de prototyper notre dispositif sous la forme d'un boîtier analogique. Ainsi, on peut commencer à explorer les solutions existantes les plus simples pour répondre à nos contraintes et objectifs.

La solution la plus simple de compréhension et de réalisation est un pont diviseur de tension entre le signal d'entrée et de sortie. Il est nécessaire cependant de connaître l'impédance du casque mais rajouter une résistance (en réalité deux pour la piste gauche et droite) entre la sortie de la chaîne Hi-Fi et le casque permettra simplement et analogiquement de réduire la valeur du signal. Cependant il s'agira d'une valeur constante de gain mais cela pourra être palier avec des résistances variables.

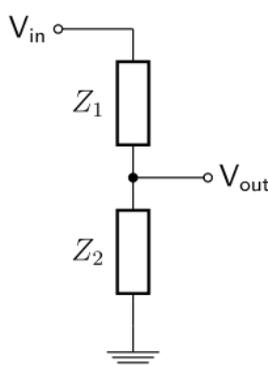


Figure 20 : Représentation du pont diviseur de tension

Ainsi, sur la figure 20, la résistance Z_2 représente l'impédance du casque et la résistance Z_1 celle qu'on rajoute dans notre dispositif. Par exemple, si l'impédance du casque est de 16 Ohms et celle de notre résistance de 20 Ohms, on aura ainsi un signal de sortie de $\frac{16}{16+20} = 44\%$ du signal de départ.

Les problèmes d'un dispositif de ce genre sont qu'il dépend donc de l'impédance du casque de l'utilisateur, qu'il agit uniquement sur l'amplitude du signal et non sur les décibels ressentis (on pourrait toujours être au-dessus des 85 décibels sans s'en rendre compte) et aussi on aurait une grosse perte d'énergie dû à l'effet Joule, mais le dispositif serait très simple en termes de faisabilité et de reproductibilité. On va donc continuer dans cette direction de dispositif électronique simple en essayant d'adapter notre dispositif à nos propres contraintes et objectifs.

Pour conclure cet état de l'art, nous avons pu constater qu'il existait déjà des casques limiteurs de volume et des dispositifs limiteurs de volume. Cependant, les casques sur le marché ne sont pas adaptés à notre adolescent pour leurs dimensions, prix et domaine d'utilisation. On a alors pu constater que les dispositifs existants sont intéressants dans leurs conceptions et leurs fonctions, ils sont de bonnes pistes pour créer notre propre dispositif de boîtier analogique.

IV. Montages et expérimentations

Dans cette partie, nous allons utiliser le logiciel LTSpice qui est un logiciel informatique de simulation de circuit électronique analogique, gratuit et open source. Il nous permettra alors de concevoir et théoriser notre dispositif sous forme de schéma électrique et ainsi de le tester. Il permet aussi d'importer et d'exporter directement des fichiers .wav, donc des fichiers audio de musique. L'exportation nous permettra de détecter la diminution ainsi que les déformations du signal à l'oreille.

Pour commencer, nous allons utiliser la base de l'amplification en électronique : les ALI (Amplificateur linéaire intégré). Il s'agit d'un composant électronique simple permettant de réaliser des opérations mathématiques (addition, soustraction...) mais aussi des fonctions mathématiques récurrentes en traitement du signal (filtrage, gain...).

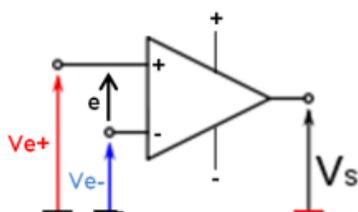


Figure 21 : Schéma électrique d'un ALI

Il est composé de deux entrées, une non inverseuse (+) et une inverseuse (-), et d'une sortie. Il possède aussi deux bornes d'alimentation. La fonction de base d'un ALI est d'amplifier la différence de potentiel « e » entre les tensions d'entrées, on a donc $e = V_{e+} - V_{e-}$ et $V_s = A.e$, avec A la valeur d'un gain dépendant du reste du circuit.

Le premier montage basique en électronique que j'ai testé est l'amplificateur non inverseur.

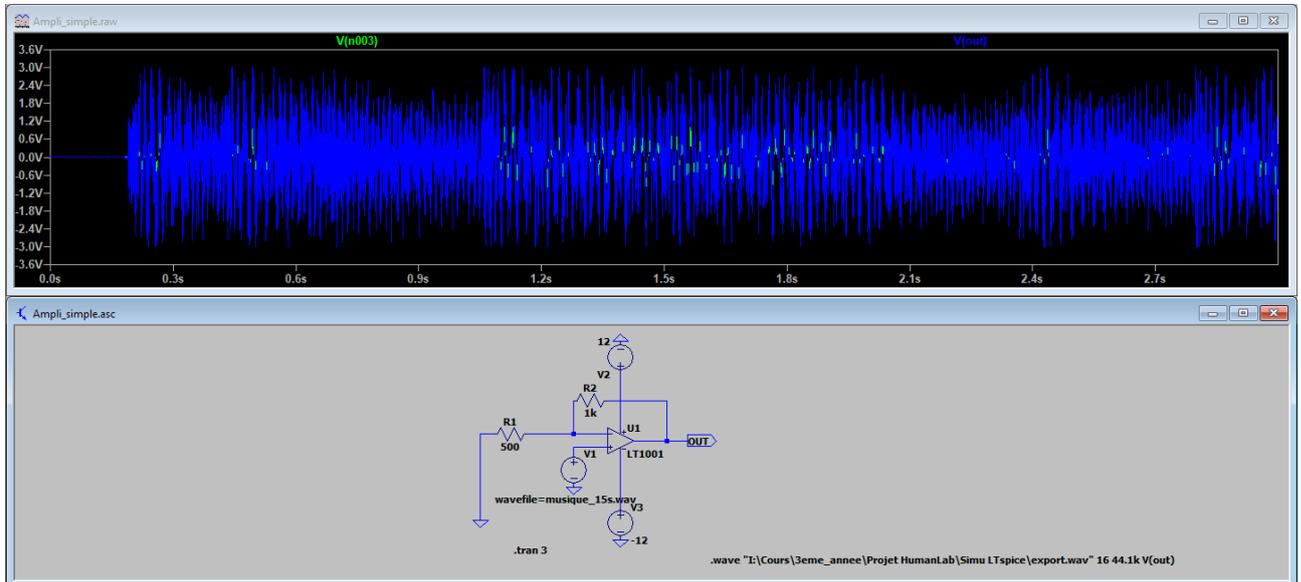


Figure 22 : Schéma de l'amplificateur non inverseur et la réponse temporelle (bleue) du signal d'entrée (vert)

Le problème de ce montage est que l'amplification est forcément supérieure à 1. En effet, sa fonction de transfert est : $V_s = (1 + R_2/R_1) * V_e$. Par exemple sur le schéma, nous avons un gain de 3. Or, pour notre projet, nous avons besoin d'une atténuation de notre signal, donc ce dernier n'est pas utilisable.

Ensuite, le deuxième montage est l'amplificateur inverseur. Celui-ci permet d'obtenir un gain inférieur à 1 donc une atténuation.

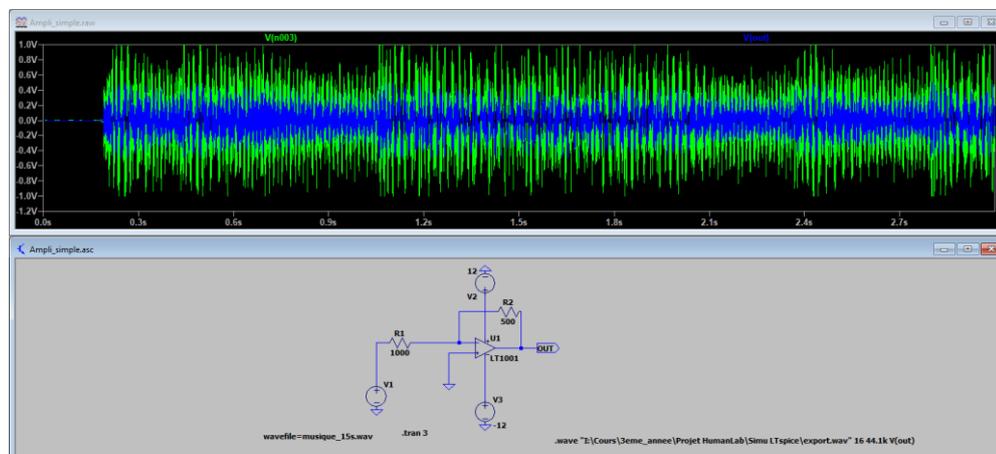


Figure 23 : Schéma de l'amplificateur inverseur et la réponse temporelle (bleue) du signal d'entrée (vert)

La fonction de transfert de ce montage est $V_s = -(R_2/R_1).V_e$.

Ainsi, sur l'exemple du dessus, nous avons une atténuation de 0.5 soit 50% du signal d'entrée. Il s'agit donc en réalité dans le domaine fréquentiel d'une diminution de 3 décibels. Le problème de ce montage est que le son est simplement atténué et non limité, ainsi que l'inversion du signal. En effet, cela crée un déphasage de pi et une fois qu'on écoute l'export audio, cela s'entend par une distorsion de la musique, en plus du fait que l'atténuation soit brutale. De plus, ce montage ne prend pas en compte les impédances d'entrées de la chaîne Hi-Fi et de sorties du casque, en plus d'avoir des résistances fixes.

J'ai donc essayé de réaliser un montage avec des résistances variables et d'autres composants pour refléter un peu mieux la réalité. Il s'agit d'un montage d'une pédale de guitare permettant de choisir le gain de sortie.

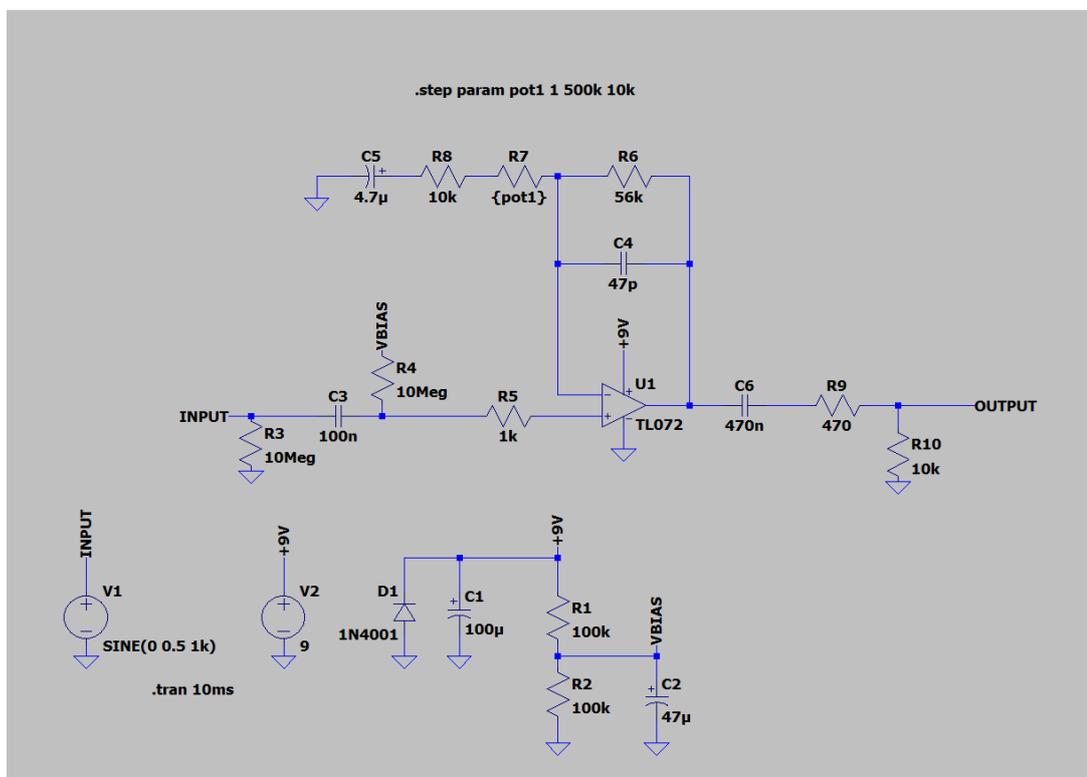


Figure 24 : Schéma de l'amplificateur à résistance variable

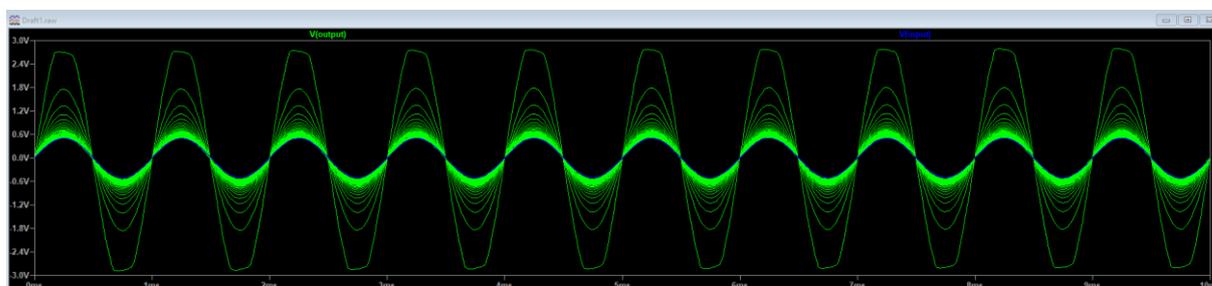


Figure 25 : Réponse temporelle de la sortie (vert) en fonction de l'entrée (bleu)

Notre résistance variable sera la R7 sur la figure 24, elle est délibérément excentrée du circuit pour une implémentation et un contrôle plus simple une fois dans un boîtier. Cependant comme pour le montage de l'amplificateur non inverseur, le gain ne peut pas être inférieur à 1, ce qui ne correspond pas à nos attentes et nos objectifs. De plus on peut observer que pour de fortes valeurs de gain, le signal commence à perdre son aspect sinusoïdal ce qui créera de la distorsion une fois la musique écoutée.

Le dernier montage que j'aimerais simuler est un montage de contrôle de gain automatique (AGC en anglais). Il permet, selon le niveau d'entrée, de moduler le gain et ainsi le niveau de la sortie, ce qui serait idéal pour notre dispositif. Malheureusement, je n'ai pas réussi à le simuler car je n'ai pas trouvé la référence des composants utilisés sur le logiciel LTSpice.

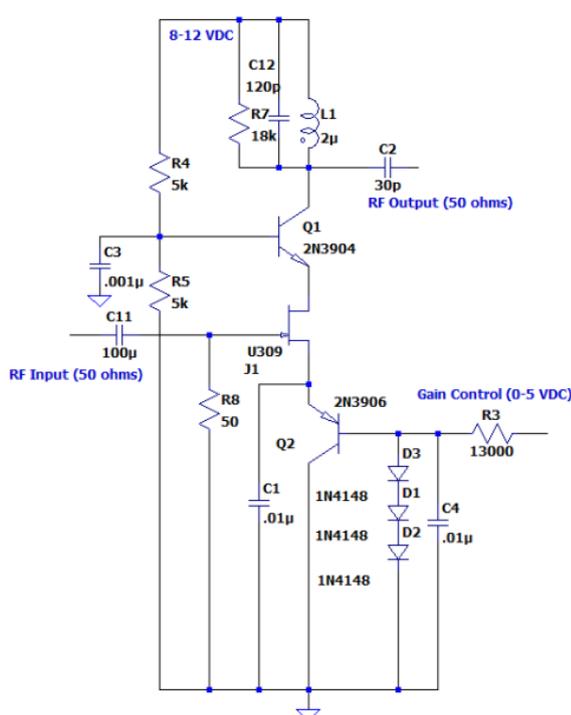


Figure 25 : Schéma de l'amplificateur à contrôle de gain automatique

On peut tout d'abord constater l'utilisation de transistors (Q1 et Q2) qui permettent un traitement du signal bien plus complexe (non linéaire) qu'avec un amplificateur linéaire classique ainsi que l'utilisation de diodes (D1, D2 et D3) pour linéariser le signal.

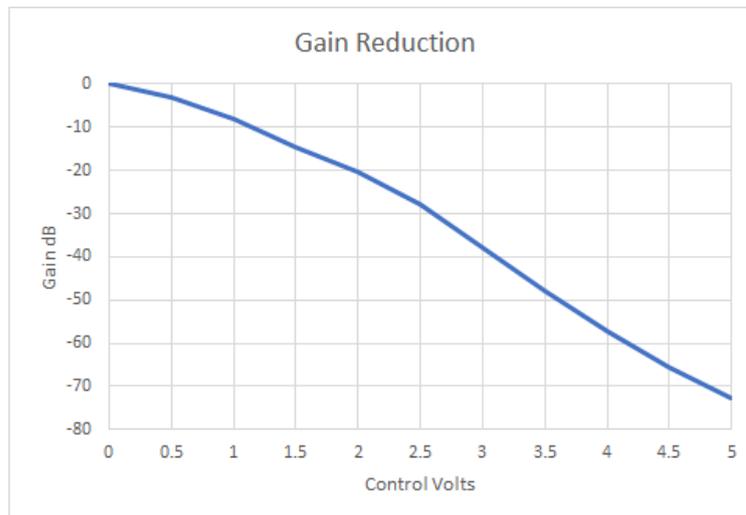


Figure 26 : Courbe de gain en fonction de la tension de contrôle

La tension aux bornes de la résistance R3 permet de contrôler le gain car il s'agit en fait de la tension de contrôle du transistor Q2, ainsi le transistor sera passant ou bloquant selon cette tension. En effet, comme on peut le constater sur la figure 26, plus la tension aux bornes de la résistance est élevée, plus l'atténuation en sortie de notre montage est élevée de façon linéaire, pouvant aller jusqu'à une atténuation d'environ 75dB.

Ainsi on pourrait l'adapter à notre dispositif lorsque la tension d'entrée est trop forte (proportionnelle à l'intensité donc au volume choisi par l'utilisateur) et instaurer le gain automatique pour une certaines gamme de valeurs des tensions.

Un dernier point annexe montrant que le logiciel LTSpice n'est pas la meilleure solution pour élaborer des dispositifs liés à la musique et au son est son traitement de la stéréo. En effet, j'ai effectué une batterie de tests quant à l'appréhension de la stéréo par le logiciel. J'ai alors créé une piste audio avec deux canaux différents, montré sur la figure 27.

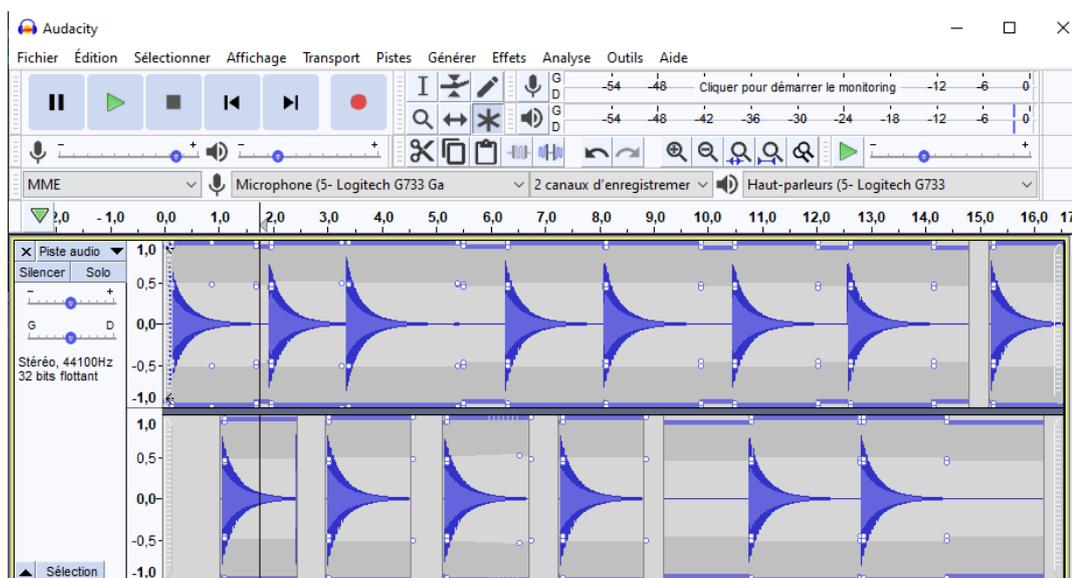


Figure 27 : Piste audio comportant deux canaux différents

Puis lors de l'importation du fichier audio, du passage dans un montage quelconque et de l'exportation, on obtient la figure 28 en sortie : On remarque alors que le logiciel ne travaille que sur le canal 1 de la piste et que lors de l'exportation il supprime le canal 2. Sachant que dans la majorité des encodages des musiques modernes il y a toujours dorénavant de la stéréo donc 2 pistes, cela pose problème pour notre étude. Une des solutions serait alors de couper notre piste en amont, la simuler pour chaque canal puis reformer la piste.

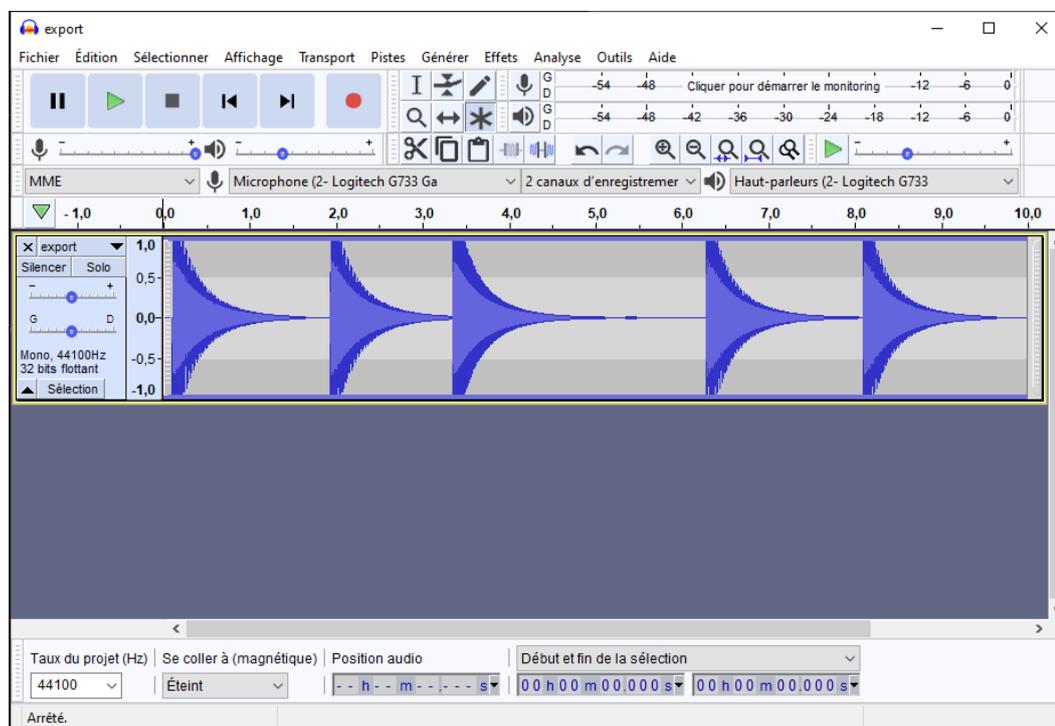


Figure 28 : Exportation d'un fichier audio par LTSpice

Ce dernier point soulève ainsi un problème de taille lors de la réalisation de notre dispositif : comment gérer électroniquement la stéréo ? Pour un montage comme un pont diviseur de tension, il sera simple de traiter les canaux indépendamment et donc d'avoir 2 fois le montage, mais pour des montages plus complexes, donc plus de composants, cela pourra engendrer des problèmes comme la taille du dispositif. Il faudra ainsi tester si le traitement pourra se faire l'un après l'autre ou pas, si un décalage / déphasage apparaît etc... Cela peut donc nous mener à penser que le traitement analogique n'est peut-être pas la meilleure solution, il faudrait donc réaliser une nouvelle étude pour le traitement numérique qui pourrait pallier à ses nouvelles contraintes.

V. Conclusion

Pour conclure ce projet, j'ai pu découvrir le monde de l'électronique appliqué à la santé, avec des contraintes bien spécifiques et surtout bien différentes de celles que j'ai pu avoir par le passé. Tous les objectifs du projet n'ont pas été remplis, mais les connaissances que m'a apportées ce projet lors de la conception de l'état de l'art, de la découverte des phénomènes physiques et des simulations vont m'apporter beaucoup dans mes projets futurs. Je sais aussi désormais que le domaine du son et de la musique est bien plus vaste et complexe qu'on ne le pense, ainsi que le nombre de technologies, de techniques, de critères, de normes etc... utilisées regroupent beaucoup de domaines scientifiques différents. De plus, les méthodes de conception des HumanLabs (DIY) sont à la fois très intéressantes mais rajoutent plusieurs contraintes au projet.

Malheureusement ce projet n'aura abouti qu'avec de simples simulations, ce qui ne reflète en aucun cas la réalité et l'étendue du projet, cependant j'ai pu apprendre beaucoup de choses sur la modélisation et la schématisation électronique, qu'elle n'est pas toujours simple et compatible entre différents logiciels, ce qui rend certaines simulations compliquées à mettre en œuvre.

Les résultats permettent de se rendre compte que le traitement du signal en analogique dans notre cas est loin d'être le plus optimisé. En effet, je pense qu'un traitement numérique aurait été beaucoup plus efficace et plus simple car mieux documenté sur internet, étant donné que c'est aujourd'hui la norme, notamment dû à l'avènement de la fibre optique. Cependant, il reste le problème de la transmission qui est forcément analogique avec une prise Jack, donc pourquoi pas se pencher sur l'utilisation de convertisseur analogique numérique pour de futures expérimentations.

D'un point de vue de la santé, j'ai aussi pu découvrir qu'il existe très peu de dispositifs ou de moyen disponible pour des personnes atteintes d'handicap comme l'autisme, afin de simplement faire ce qu'on fait tous plus ou moins : écouter de la musique. Le marché des dispositifs médicaux lié aux maladies mentales est quasiment inexistant alors que des milliers voir des millions de familles en auraient largement besoin. Et puis dans un monde où l'environnement devient de plus en plus bruyant, il serait nécessaire de tous faire attention à nos oreilles et ce dû plus jeune âge pour n'importe qui.

VI. Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à ce projet et qui m'ont aidé lors de la rédaction de ce rapport. Ainsi, j'adresse mes remerciements à l'équipe Inria CAMIN et au Humanlab Saint-Pierre qui m'ont proposé et permis de travailler sur ce projet. J'aimerais aussi remercier l'adolescent ainsi que sa famille qui font tout pour que leur fils puisse être heureux et exercer ses passions comme écouter de la musique comme tout le monde sans se mettre en danger. Passion que je partage grandement et que j'affectionne tout particulièrement.

VII. Bibliographie

- [1] Site internet de l'équipe Inria CAMIN « <https://team.inria.fr/camin/> »
- [2] Site internet de la collaboration entre l'inria et le humanlab « <https://project.inria.fr/humanlabinria/> »
- [3] Site internet de l'Humanlab Saint-Pierre « <https://www.humanlabsaintpierre.org/> »
- [4] Site internet des laboratoires Unisson « <https://www.laboratoires-unisson.com/faq/audition/est-ce-dangereux-ecouter-musique.html> »
- [5] Article sur les pondérations de fréquences « <https://www.nti-audio.com/fr/assistance/savoir-faire/ponderations-de-frequence-pour-les-mesures-de-niveau-sonore> »
- [6] Article sur les compresseurs et limiteurs « <https://www.projethomestudio.fr/reglages-compresseur-audio/> »