

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE
Faculté de génie
Département de génie électrique et génie informatique

RAPPORT APP3

Traitement numérique des signaux
APP3

Présenté à
Eric Plourde

Présenté par
Équipe numéro 13
Emmanuel Bolduc – bole2202
François Marcoux – marf2910

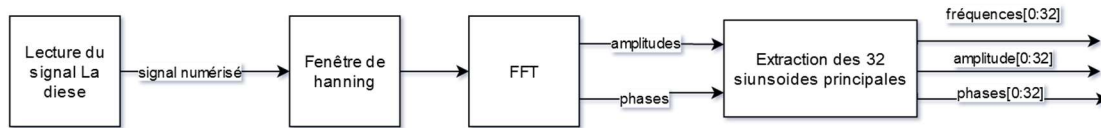
Sherbrooke – 15 février 2022

TABLE DES MATIÈRES

1.	Développement	3
1.1	méthode d'extraction des paramètres	3
1.1.1	Extraction de l'enveloppe temporelle	3
1.2	Synthèse du son à partir des paramètres	4
1.3	Analyse et synthèse des sons	4
1.3.1	Affichage des spectres de Fourier du LA#	4
1.3.2	Affichage des spectres de Fourier du basson	5
1.3.3	Enveloppes temporelles	7
1.4	Filtre FIR pour l'enveloppe temporelle	7
1.4.1	Démarche pour trouver N	7
1.4.2	Réponse en fréquence du filtre passe-bas	8
1.5	Filtre coupe-bande fir avec équations de transformation	9
1.5.1	Calcul des coefficients	9
1.5.2	Réponse à l'impulsion $h(n)$	10
1.5.3	Réponse d'une sinusoïde à 1000Hz	10
1.5.4	Réponse en fréquence	10
1.5.5	Spectre d'amplitude des signaux basson	12

1. DÉVELOPPEMENT

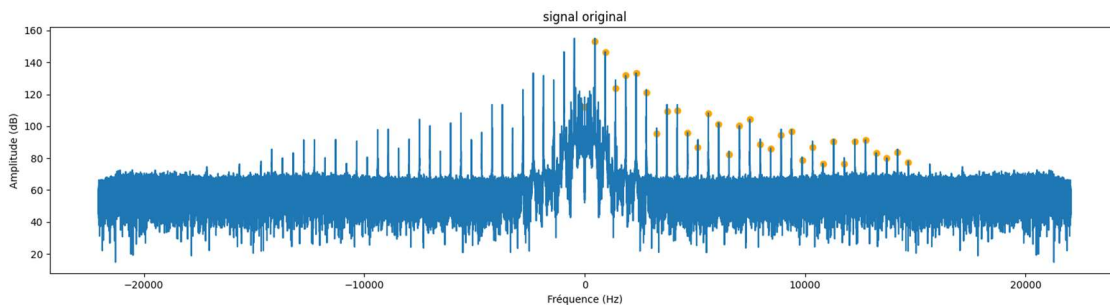
1.1 MÉTHODE D'EXTRACTION DES PARAMÈTRES



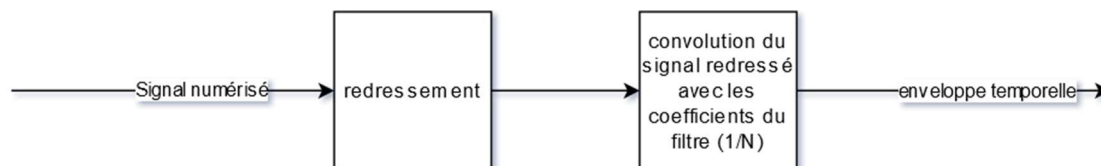
La fréquence d'échantillonnage du fichier .wav est de 44100 Hz, pour un total de 160 000 échantillons. La fenêtre de Hanning est définie par l'équation suivante.

$$w(n) = 0.5 - 0.5\cos\left(\frac{2\pi n}{M-1}\right) \quad 0 \leq n \leq M-1$$

Ou M = nombre d'échantillons. Le signal d'entrée et la fenêtre de Hanning ont été multiplié entre eux (point par point) pour obtenir le signal fenêtré. L'amplitude et les phases ont été calculé sur chaque points résultants de la FFT du signal fenêtré. Les 32 sinus extraits (amplitudes, fréquences et phases) sont les maximums locaux évalués sur un intervalle d'échantillons définis.



1.1.1 EXTRACTION DE L'ENVELOPPE TEMPORELLE

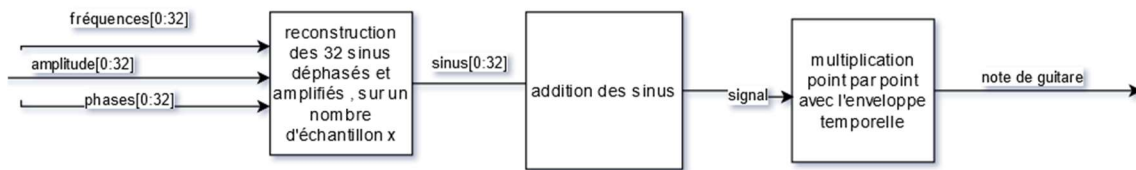


Le redressement du signal numérisé consiste à garder la valeur absolue de chaque point. Les coefficients du filtre passe-bas sont :

$$\left[\frac{1}{886}, \frac{1}{886}, \frac{1}{886}, \dots, \frac{1}{886} \right] \quad (1.1)$$

Pour un total de 886 coefficients. Ce vecteur de coefficients est ensuite convolué avec le signal redressé pour obtenir l'enveloppe temporelle.

1.2 SYNTHÈSE DU SON À PARTIR DES PARAMÈTRES



La reconstruction des sinus utilise la formule suivante

$$S = \text{amplitude}[i] * \sin(\text{fréquences}[i] * \text{facteurLa\#} * 2 * \pi * t + \text{phase}[i])$$

Où t représente notre numéro d'échantillon.

Le facteur LA# est choisi selon la note que le veut synthétiser. Pour un LA#, on utilise un facteur de 1 (indice K=0). Pour les autres notes, on utilise la table de la Note 3 du Guide étudiant pour trouver le facteur en considérant que l'indice k=0 pour un LA#, -1 pour un LA, -2 pour un SOL #, ainsi de suite. On additionne ces 32 sinus et on obtient le son synthétisé. La dernière étape est d'ajouter l'enveloppe temporelle au son pour donner un effet de note de guitare qui revient à multiplier point par point les deux vecteurs.

1.3 ANALYSE ET SYNTHÈSE DES SONS

1.3.1 AFFICHAGE DES SPECTRES DE FOURIER DU LA#

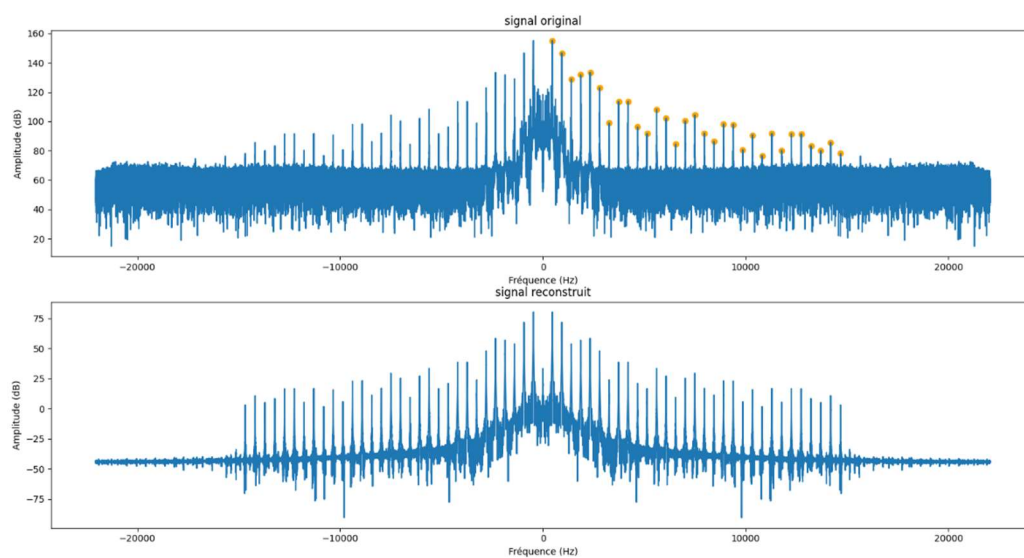


Figure 1: Spectre de Fourier du La#

1.3.2 AFFICHAGE DES SPECTRES DE FOURIER DU BASSON

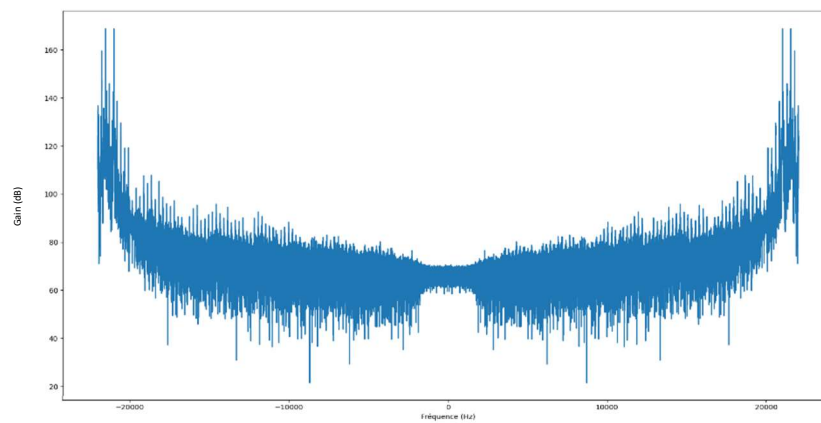


Figure 2: Spectre de Fourier de la note basson originale

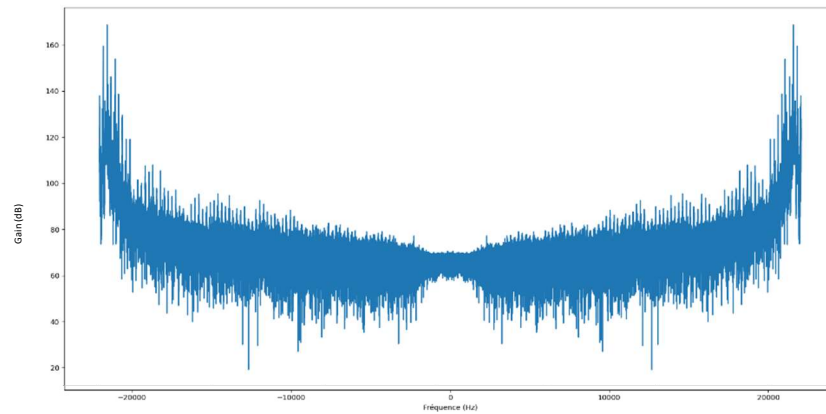


Figure 3: Spectre de Fourier de la note basson filtrée

Tableau 1: Tableau des sinusoïdes principales retenues

Fréquence (Hz)	Amplitude	Phase (rad)
23.15	16778.91	-1.2089
466.08	57026047.12	-2.1107
932.44	21540388.62	-0.5975
1399.35	2822440.01	-1.6192
1865.43	3888433.33	1.0070
2332.06	4655697.40	0.2960
2799.25	1407017.82	-1.8013
3266.71	88134.28	1.9315
3733.89	480033.04	-1.3567
4201.90	475238.43	1.2785
4669.91	64358.51	-1.1782
5138.48	38199.83	-2.9727
5608.97	260041.41	-1.7306
6077.81	127279.10	1.7093
6548.57	16616.01	0.8207
7019.34	103571.28	-0.3065
7491.21	165210.42	-0.3837
7963.91	39542.31	-2.5980
8437.71	20521.94	-1.9805
8911.23	81140.43	2.3976

9385.85	78056.91	-1.1386
9861.31	10781.80	0.6554
10338.69	34220.89	-2.5334
10808.08	6822.85	0.4185
11294.83	38530.14	2.1566
11775.80	10328.12	1.2211
12255.94	37792.27	-1.1944
12738.00	37520.98	0.0074
13220.90	14665.69	-0.1267
13706.27	10146.65	-0.2525
14191.65	19124.99	-1.5862
14679.78	7995.73	-1.1545

1.3.3 ENVELOPPES TEMPORELLES

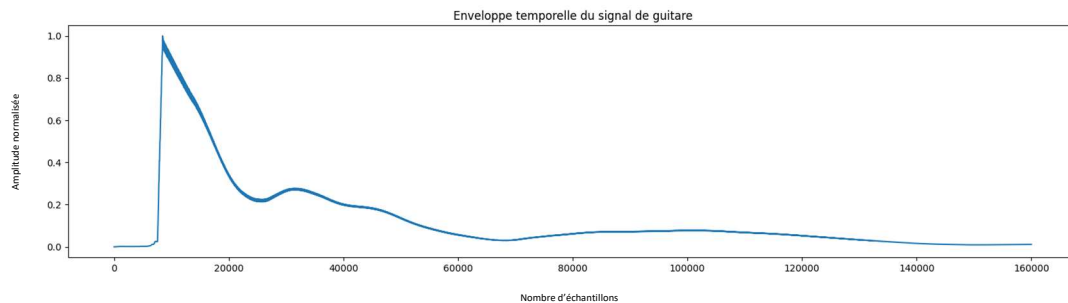


Figure 4: Enveloppe temporelle de la note de guitare

1.4 FILTRE FIR POUR L'ENVELOPPE TEMPORELLE

1.4.1 DÉMARCHE POUR TROUVER N

On sait initialement que le gain $H(\frac{\pi}{1000})$, le gain à la fréquence normalisé $\pi / 1000$, est de -3dB ou $\frac{\sqrt{2}}{2}$ sur l'échelle décimale. On sait également que le $H(0)$, le gain à 0Hz, est de 0dB ou de 1 en décimal. En utilisant la simplification que les coefficients du filtre sont de $1/N$, on peut trouver la réponse du filtre dans le domaine fréquentiel avec la formule suivante

$$H(w) = \frac{1}{N} * \frac{\sin(\frac{w}{2})}{\sin(w * \frac{N}{2})}$$

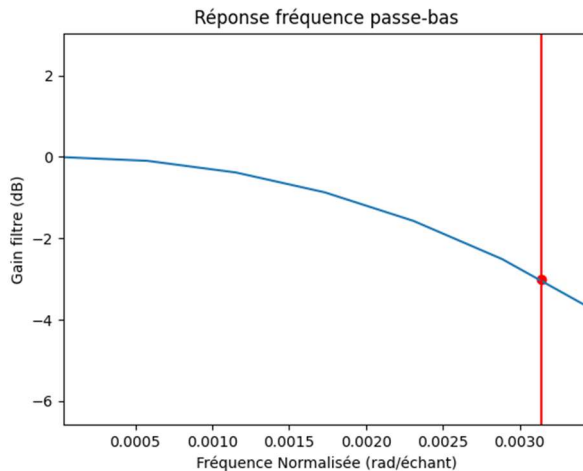
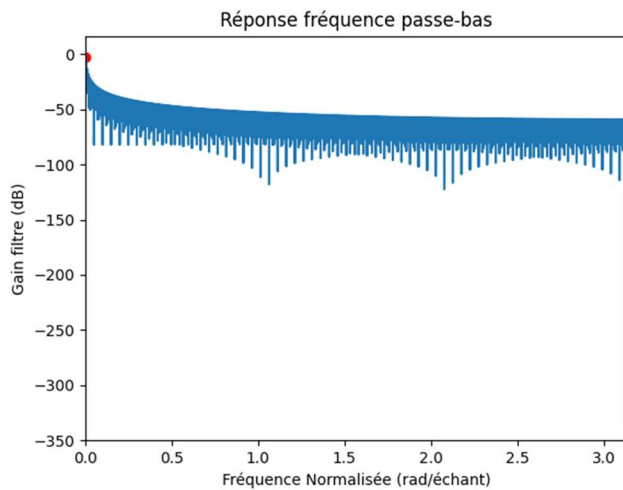
Il faut donc trouver N lorsque $w = \pi/1000 = \sqrt{\frac{2}{2}}$

$$\sqrt{\frac{2}{2}} = \frac{1}{N} * \frac{\sin\left(\frac{w}{2}\right)}{\sin\left(w * \frac{N}{2}\right)}$$

Wolfram alpa a été utilisé pour résoudre cette équation et on obtient un N = 886

1.4.2 RÉPONSE EN FRÉQUENCE DU FILTRE PASSE-BAS

La réponse (gain et phase) en fréquence du filtre a été trouvée en exécutant la FFT sur le vecteur de coefficient de l'équation (1.1)



Ici , on focus sur le gain à la fréquence normalisée ($\pi/1000$) de -3dB

1.5 FILTRE COUPE-BANDE FIR AVEC ÉQUATIONS DE TRANSFORMATION

1.5.1 CALCUL DES COEFFICIENTS

Équation aux différences :

$$h_{passe-bas}(n) = \begin{cases} \frac{K}{N} & \text{quand } n = 0 \\ \frac{\sin\left(\frac{\pi n K}{N}\right)}{N \sin\left(\frac{\pi n}{N}\right)} & \text{quand } n \neq 0 \end{cases} \quad (1.1)$$

Données :

$$N = 6000 \quad (2.1)$$

$$\bar{\omega}_1 = \frac{2\pi \cdot 40}{f_e} \quad (2.2)$$

$$\bar{\omega}_0 = \frac{2\pi \cdot 1000}{f_e} \quad (2.3)$$

$$f_e = 44100 \text{ Hz (dans notre cas)} \quad (2.4)$$

Calcul de la réponse du passe-bas :

$$K = \frac{2 \cdot N \cdot 40 \text{ Hz}}{44100 \text{ Hz}} \quad (3.1)$$

$$h_{passe-bas}[n] = \begin{cases} 1.814 \cdot 10^{-3} & \text{quand } n = 0 \\ \frac{\sin(1.8143 \cdot 10^{-3} \pi n)}{6000 \sin\left(\frac{\pi n}{6000}\right)} & \text{quand } n \neq 0 \end{cases} \quad (3.2)$$

Calcul de la réponse du coupe-bande :

$$h_{coupe-bande}[n] = \delta[n] - 2 \cdot h_{passe-bas}[n] \cdot \cos(\bar{\omega}_0 n) \quad (4.1)$$

$$h_{coupe-bande}[n] = \begin{cases} 1 - \frac{2K}{N} & \text{quand } n = 0 \\ -\frac{2 \sin\left(\pi n \frac{K}{N}\right) \cos(\bar{\omega}_0 n)}{N \sin\left(\frac{\pi n}{N}\right)} & \text{quand } n \neq 0 \end{cases} \quad (4.2)$$

$$h_{coupe-bande}[n] = \begin{cases} 0.996 & \text{quand } n = 0 \\ -\frac{2 \sin(1.8143 \cdot 10^{-3} \pi n) \cos(0.1425 n)}{6000 \sin\left(\frac{\pi n}{6000}\right)} & \text{quand } n \neq 0 \end{cases} \quad (4.3)$$

1.5.2 RÉPONSE À L'IMPULSION $H(n)$

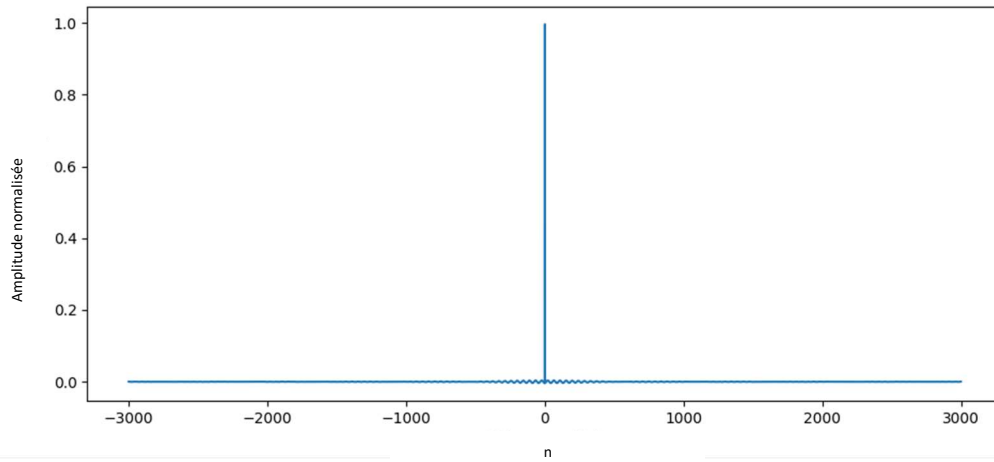


Figure 5: Réponse à l'impulsion du filtre coupe-bande

1.5.3 RÉPONSE D'UNE SINUSOÏDE À 1000Hz

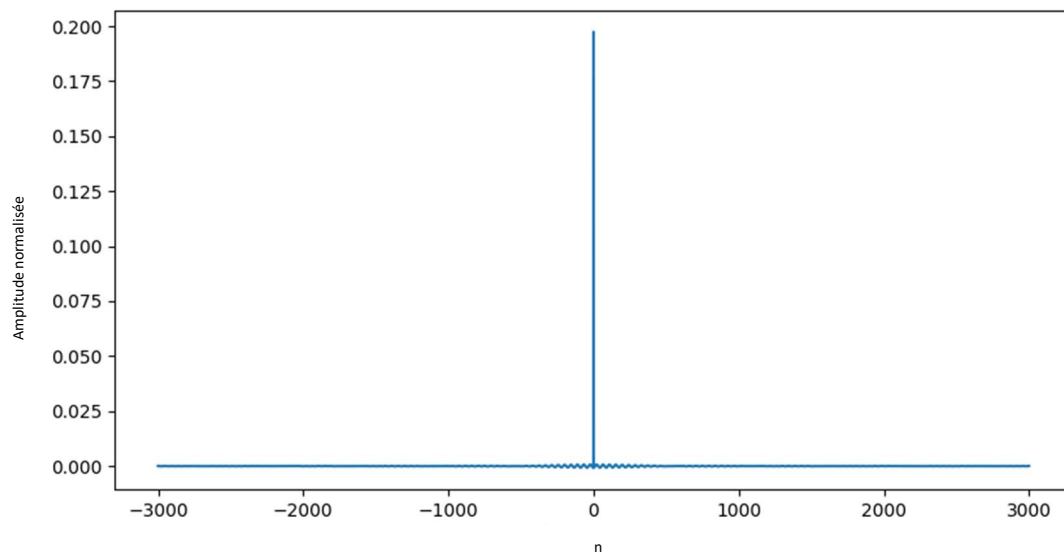


Figure 6: Réponse à une sinusoïde 1000 Hz du filtre coupe-bande

1.5.4 RÉPONSE EN FRÉQUENCE

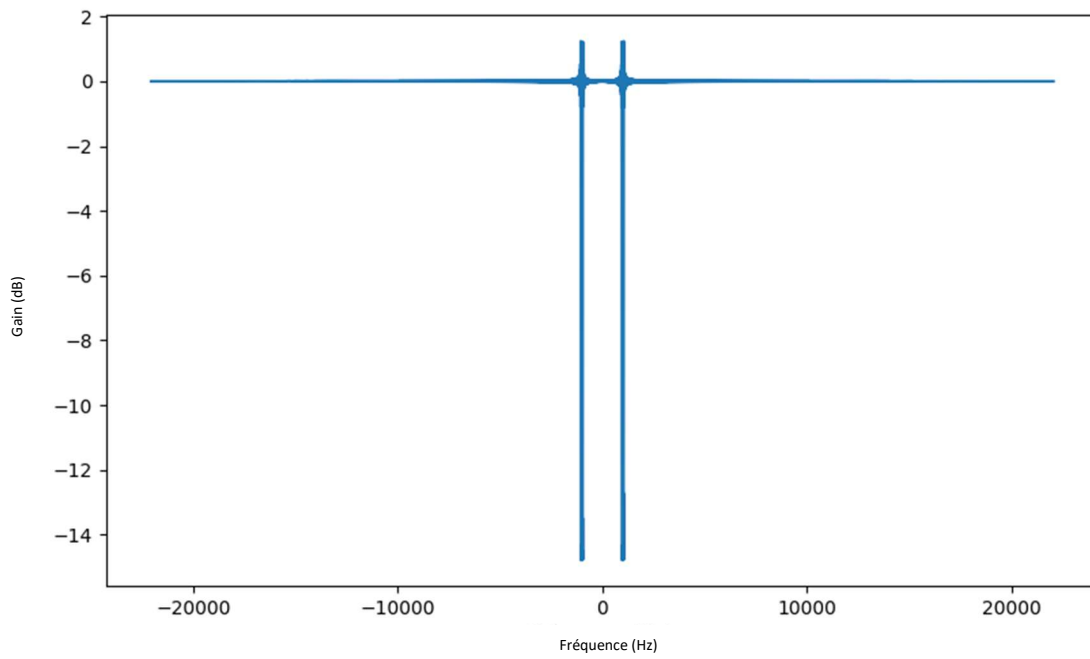


Figure 7: Amplitude de la réponse en fréquence du filtre coupe-bande

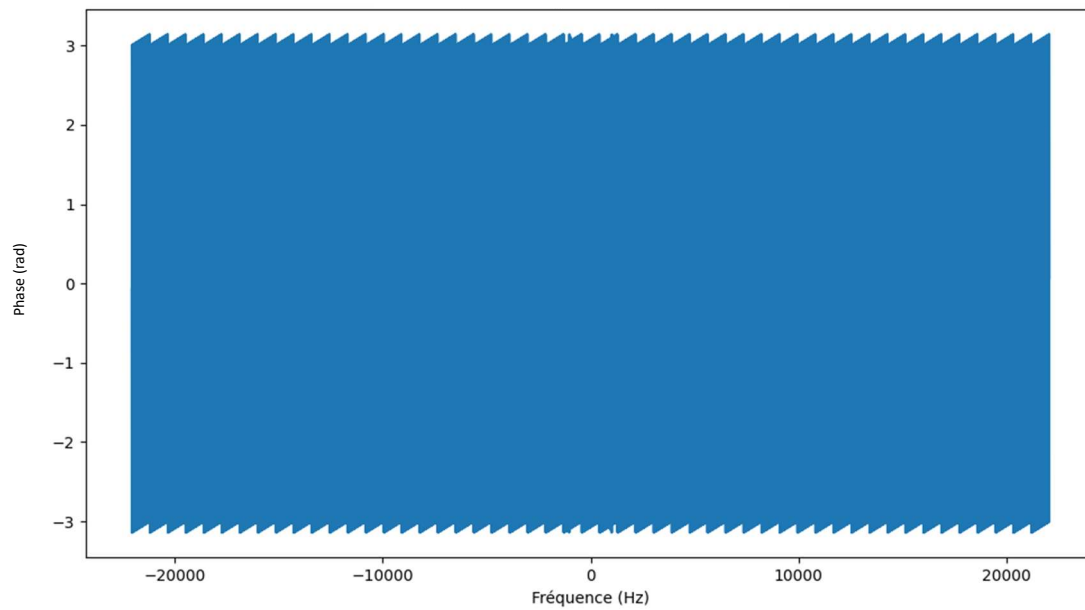


Figure 8: Phase de la réponse en fréquence du filtre coupe-bande

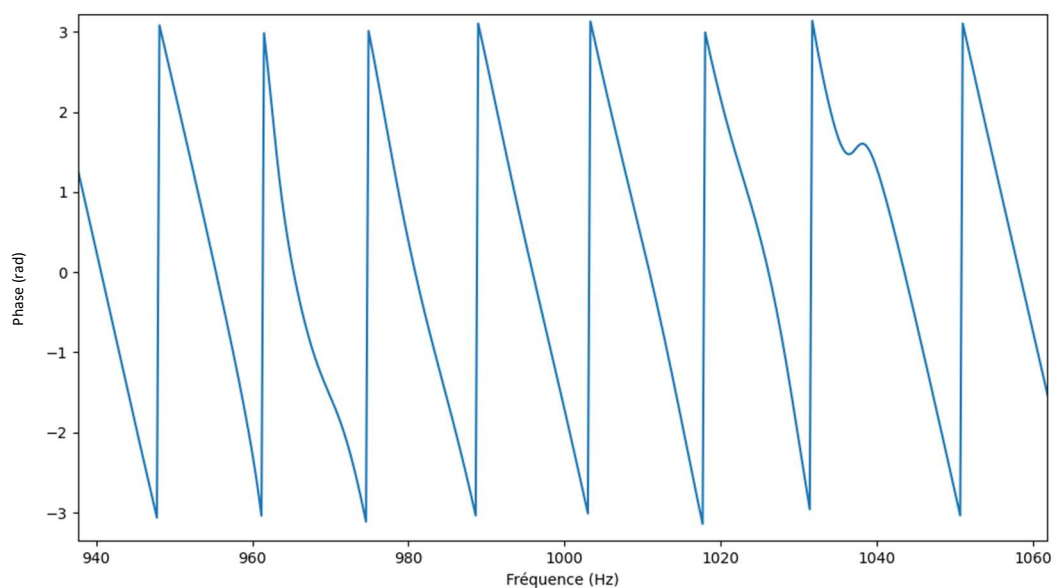


Figure 9: Phase de la réponse en fréquence du filtre coupe-bande autour de 1000 Hz

1.5.5 SPECTRE D'AMPLITUDE DES SIGNAUX BASSON

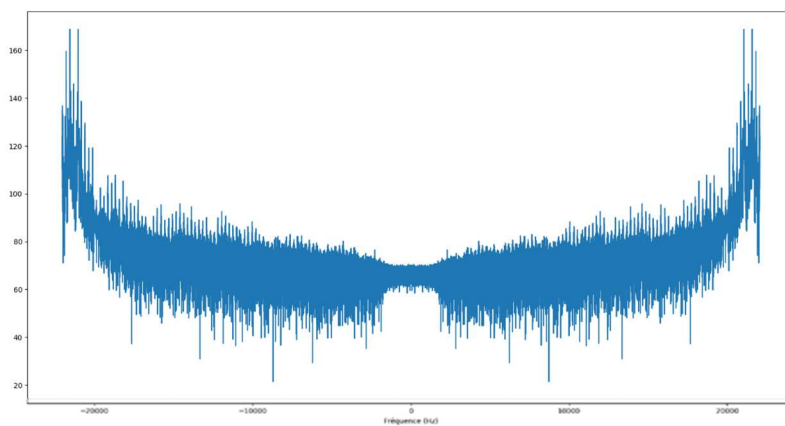


Figure 10: Spectre de la note basson avant filtrage

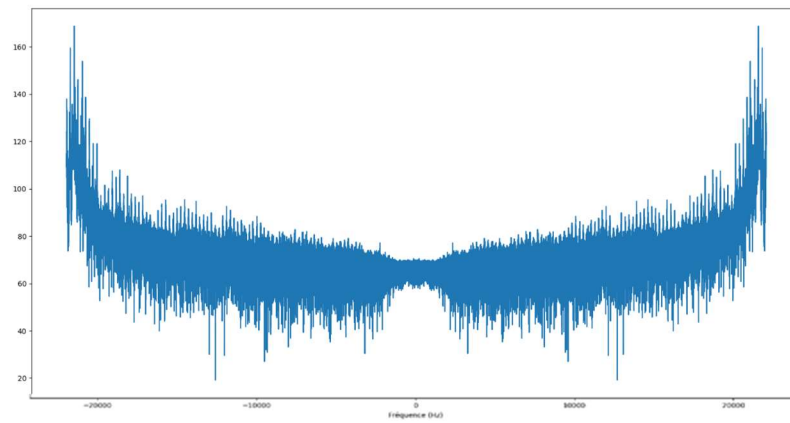


Figure 11: Spectre de la note basse après filtrage