

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

APP3

Traitement numérique des signaux

Présenté à
François Grondin

Présenté par
Maxime Pagé – pagm1302
Olivier St-Amand – stao0901

Sherbrooke – 1 octobre 2024

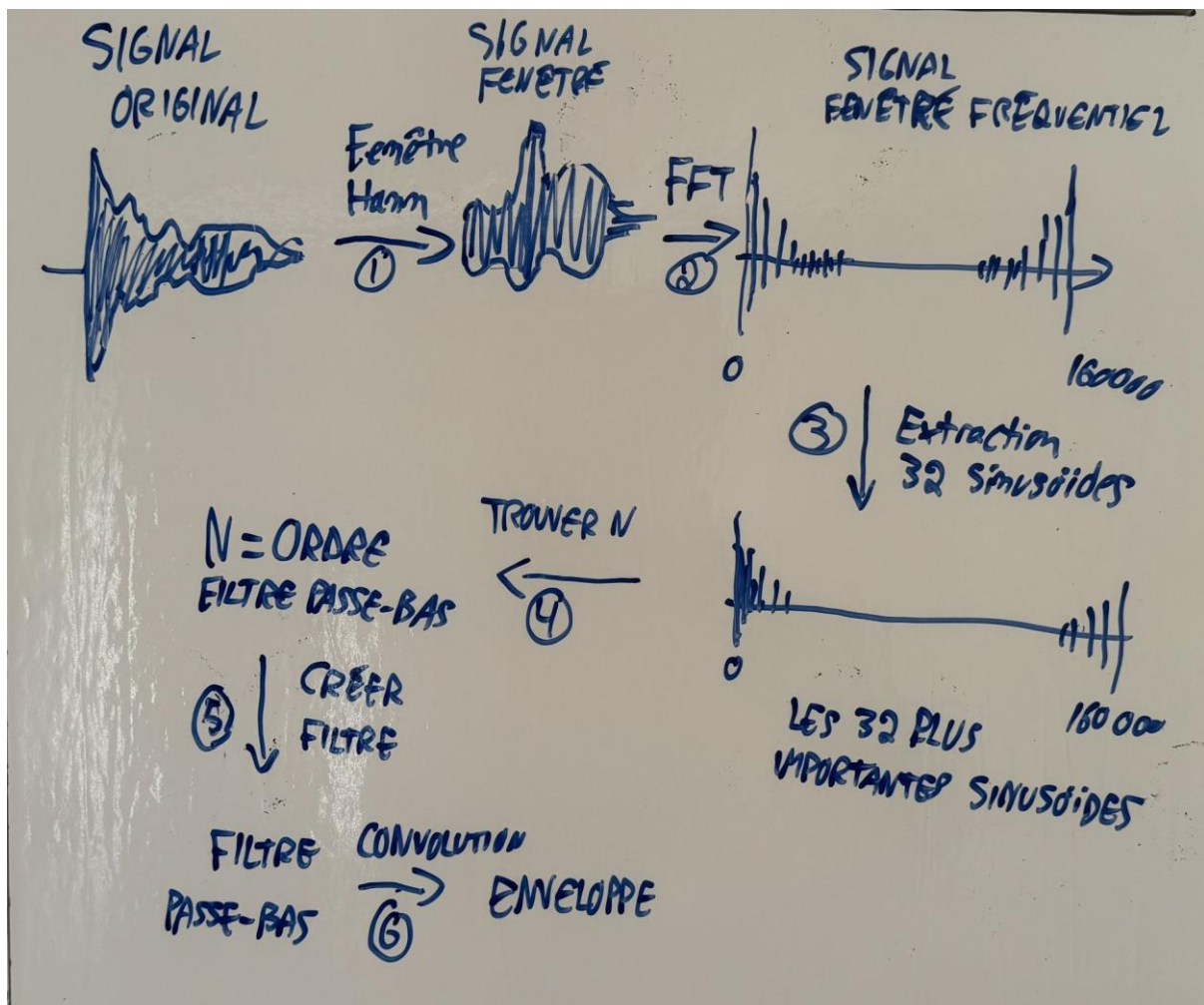
Introduction.....	3
Schéma-bloc de la méthode d'extraction des paramètres (sinusoïdes et enveloppe temporelle) : MAX.....	3
Schéma bloc de la fonction de synthèse à partir des paramètres (sinusoïdes et enveloppe temporelle) : MAX.....	5
Analyse et synthèse des sons :	6
(i) Affichage des spectres de Fourier des signaux du LA# et du basson (originaux et synthèse) en dB (décibel) avec l'axe des fréquences en Hz,	6
LA# original	6
LA # synthétisé	7
Basson originale	7
Basson synthétisé.....	8
(ii) donnez aussi, dans un tableau : les fréquences, amplitudes et phases des harmoniques retenues,	8
LA#	8
Basson.....	9
(iii) montrez sur un graphique les enveloppes temporelles obtenues. Assurez-vous que tous les axes sont identifiés clairement avec variables et unités.....	9
Enveloppe LA#	9
Enveloppe Basson	10
Filtre FIR pour extraire l'enveloppe du signal redressé	10
(i) donnez vos calculs et explications de la longueur N du filtre,	10
(ii) donnez le graphique de la réponse en fréquence (amplitude seule, en dB). Assurez-vous que tous les axes sont identifiés clairement avec variables et unités.	11
Filtre coupe-bande FIR avec équations de transformation :	11
(i) fournir l'équation aux différences et le calcul des valeurs des coefficients	11
(ii) tracer réponse à l'impulsion $h(n)$,.....	11
(iii) tracer la réponse à une sinusoïde de 1000 Hz,.....	12
(iv) tracer graphiques amplitude et phase de la réponse en fréquence.....	13
(v) tracer spectres d'amplitude des signaux basson avant et après filtrage. Assurez-vous que tous les axes sont identifiés clairement avec variables et unités.	15
Conclusion	16

Introduction

Ce rapport explore les méthodes d'extraction et de synthèse des paramètres d'un signal audio. À travers une analyse des signaux d'une note de guitare et d'un basson, plusieurs étapes nous permettent de faire la synthèse d'une note de musique ainsi que le filtrage d'un enregistrement bruité. Les résultats sont obtenus via des scripts Python et illustrés à travers divers graphiques et spectres.

Schéma-bloc de la méthode d'extraction des paramètres (sinusoïdes et enveloppe temporelle) : MAX

Voici le schéma-bloc de la méthode d'extraction des paramètres:

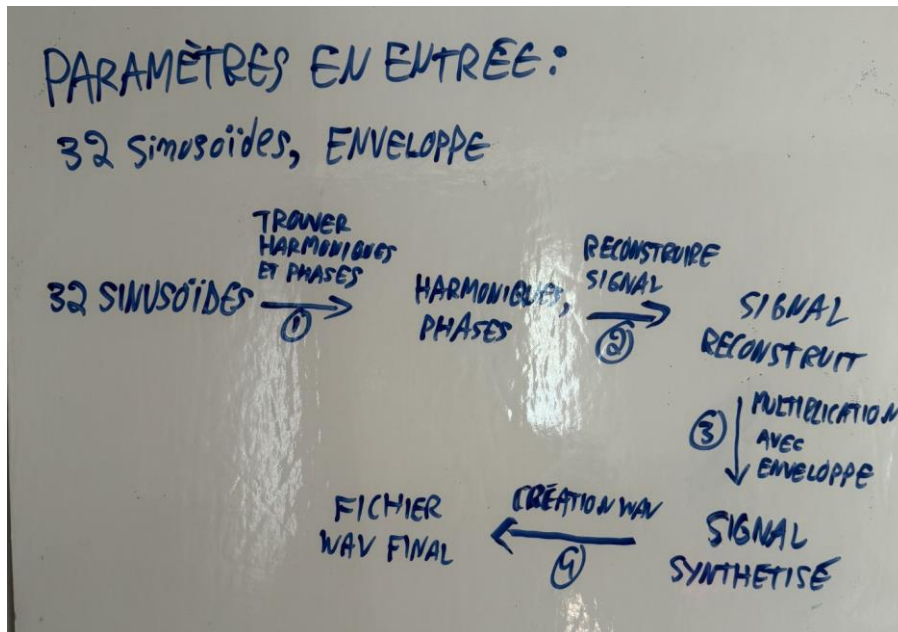


Celle-ci commence avec le signal original, obtenu en faisant une lecture du fichier de la note de guitare.

- Lors de la première étape, une fenêtre de Hann est appliquée sur ce signal afin de minimiser l'effet de fuite sur ce signal original.
- Par la suite, le signal fenêtré est transformé dans le domaine fréquentiel à l'aide d'une transformée de Fourier rapide. La raison de cette transformation est qu'elle permet de trouver l'ordre du filtre passe-bas dans une étape ultérieure puisque le gain du filtre est seulement connu à la fréquence normalisée de $\frac{\pi}{1000}$.
- Ensuite, les sinusoïdes principales (les 32 principales) sont extraites à partir du signal transformé. Cette extraction est faite pour la prochaine méthode (synthèse du signal), dans laquelle le signal sera reconstruit.
- Par la suite, l'étape 4 permet de trouver l'ordre du filtre passe-bas à partir des 32 sinusoïdes principales. En effet, tel que brièvement mentionné plus haut, le gain de -3db est connu pour la fréquence normalisée de $\frac{\pi}{1000}$. Ainsi, en sachant que tous les coefficients de la fréquence normalisée sont égaux, une simple approche par boucle permet de trouver l'ordre N pour lequel le gain est le bon.
- Ensuite, l'étape 5 constitue à créer le filtre passe-bas, plus précisément en créant l'équation de sa réponse impulsionnelle. En effet, puisque les coefficients sont égaux, chaque coefficient sera égal à 1. La raison pour ceci, est que le gain de la DC doit être égal à 0 dB. En effet, pour le gain de la DC, seuls les coefficients de la réponse impulsionnelle ont un impact sur le gain (car la fréquence est de 0 Hz). Ainsi, si on retrouve N coefficients pour lesquels la valeur des de 1 et qu'on en fait la moyenne, on retrouve un gain de 1 (tel que demandé dans la problématique).
- Finalement, l'étape 6 permet de trouver l'enveloppe du signal original en faisant la convolution de celui-ci avec le filtre passe-bas trouvé à l'étape précédente.

Schéma bloc de la fonction de synthèse à partir des paramètres (sinusoïdes et enveloppe temporelle) : MAX

Voici le schéma-bloc de la méthode de la synthèse à partir des paramètres trouvés dans la section précédente. Les paramètres en entrée sont les 32 sinusoïdes principales et l'enveloppe temporelle du signal original



La méthode commence à partir des 32 sinusoïdes principales obtenues dans l'étape précédente.

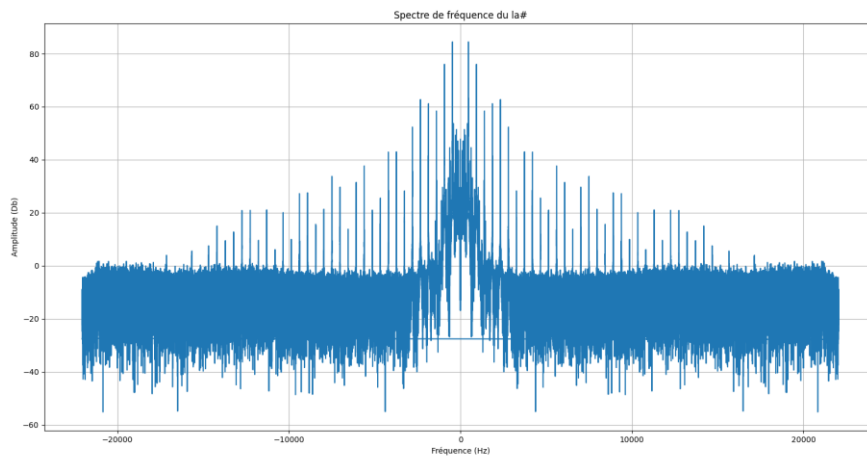
- La première étape constitue à trouver les harmoniques et les phases pour chacune des 32 sinusoïdes.
- Par la suite, la deuxième étape fait la reconstruction d'un seul signal à partir de ces 32 sinusoïdes.
- La troisième étape constitue à faire la multiplication du signal temporel obtenu à la deuxième étape avec l'enveloppe de l'audio initial. Ceci est fait pour retrouver la précision qui a été perdue en revenant dans le domaine temporel.
- L'étape finale constitue à construire le fichier .wav à partir du signal synthétisé à l'étape précédente.

Analyse et synthèse des sons :

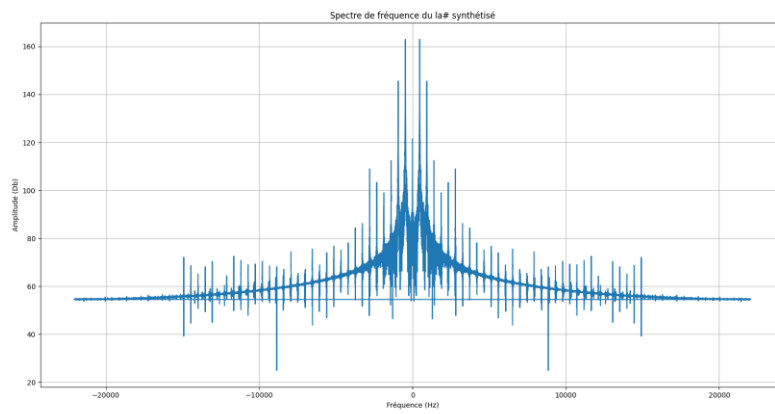
(i) Affichage des spectres de Fourier des signaux du LA# et du basson (originaux et synthèse) en dB (décibel) avec l'axe des fréquences en Hz,

NOTE: tous les calculs et affichages python pour la note du LA# et de Beethoven sont dans le fichier beethoven.py. En ce qui concerne les démarches pour le basson, celles-ci peuvent être retrouvées dans le fichier basson.py.

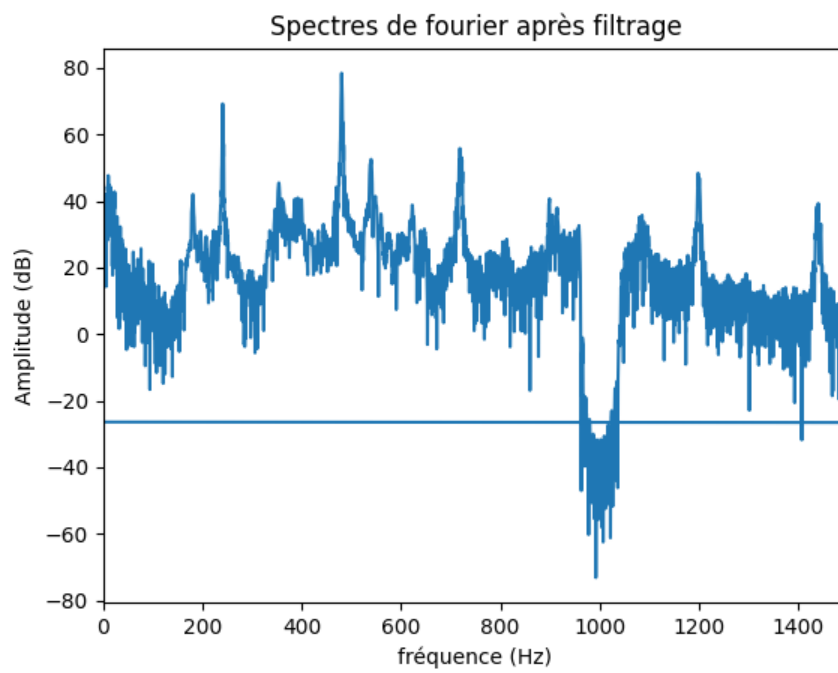
LA# original



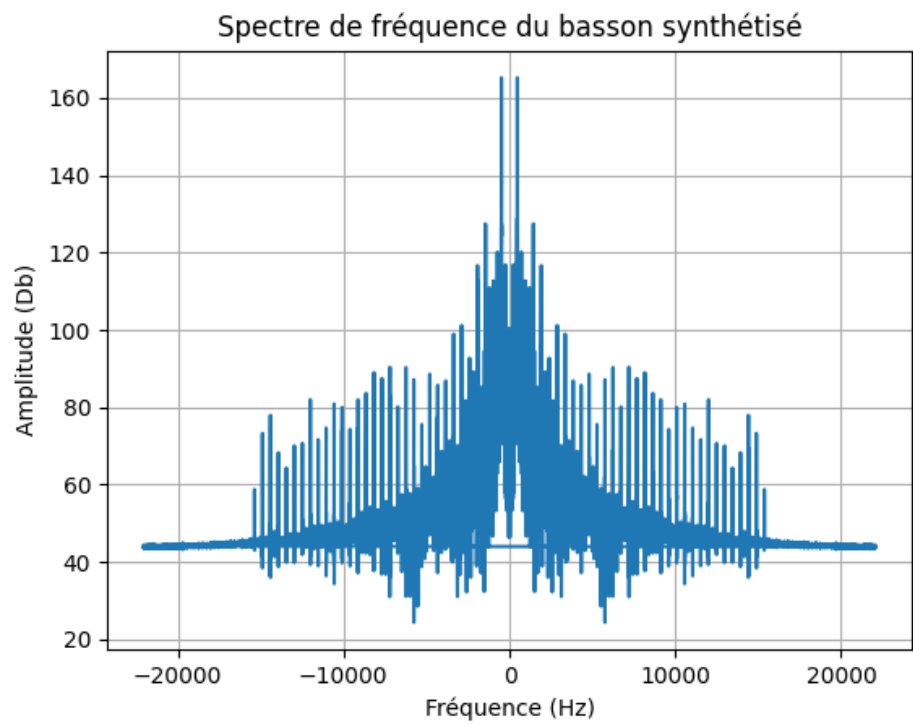
LA # synthétisé



Basson originale



Basson synthétisé



(ii) donnez aussi, dans un tableau : les fréquences, amplitudes et phases des harmoniques retenues,

LA#

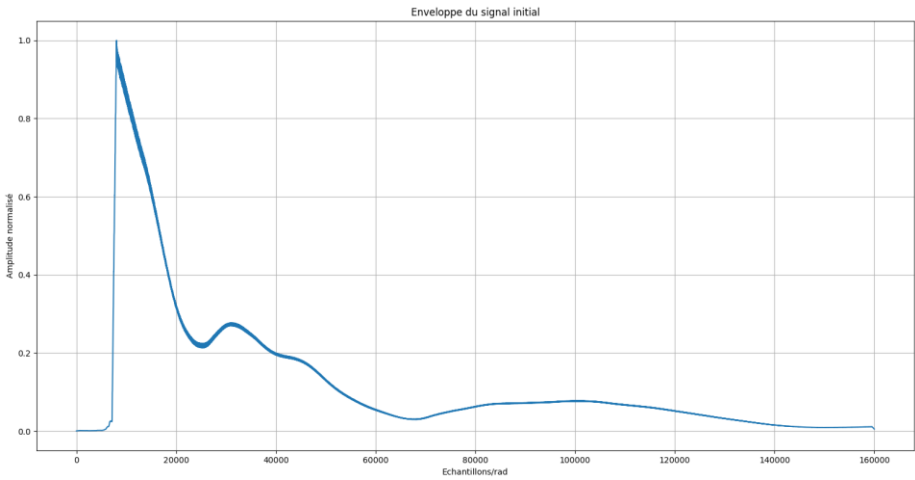
Fréquence (Hz)	Amplitude	Phase
0.0	47.6973187915921	3.141592653589793
466.081875	84.4792905179832	-2.110903473752648
932.16375	67.78331604230164	1.2678327002890566
1398.245625	31.45385260691553	2.0345966721301534
1864.3275	13.448995962634704	-1.7854257653834668
2330.409375	24.668071754389736	-0.7929203799549669
2796.49125	30.03806163799057	1.729727563807584
3262.573125	2.7122417883264456	-0.6501669880418271
3728.655	9.45414069105153	0.40441571806107257
4194.7368750000005	-0.8190614953090241	-0.7171554580291508
4660.81875	-17.889615226375536	-2.103610026211374
5126.900625	0.2555406365307731	-1.7064472598823222
5592.9825	-2.6106067869040874	-2.615346759713659
6059.064375	-15.340665323564362	3.1159823630293153
6525.14625	-2.242399767872408	-0.9773551724831743
6991.228125000001	-17.44875933980732	0.3112376112928674
7457.31	-14.792898412817704	1.2387794958414147
7923.391875	-2.9589389192231774	3.012007881439854
8389.473750000001	-14.437765408768035	1.370135043706992
8855.555625	-10.68829568708956	1.9774892293070958
9321.6375	-9.488232414275647	3.098444865730387
9787.719375	-7.507135734810772	2.920837738795726
10253.80125	-9.964615322174772	2.504781189131076
10719.883125	-12.398162224229534	0.0010774269549439842
11185.965	-6.63289592081213	-1.9620463713230984
11652.046875	4.802221183617672	2.0892892059639205
12118.12875	-14.61454899811525	-1.1095107079239996
12584.210625	-27.868166741087936	-2.2329849791532532
13050.2925	-9.745681795797035	1.9955585090419667
13516.374375000001	-10.164593371651476	-1.0962494768248925
13982.456250000001	-12.613177206136864	2.715082761633126
14448.538125000001	-9.164883844802791	2.6072965708688534
14914.62	-5.165651494361003	-0.460678989558907

Basson

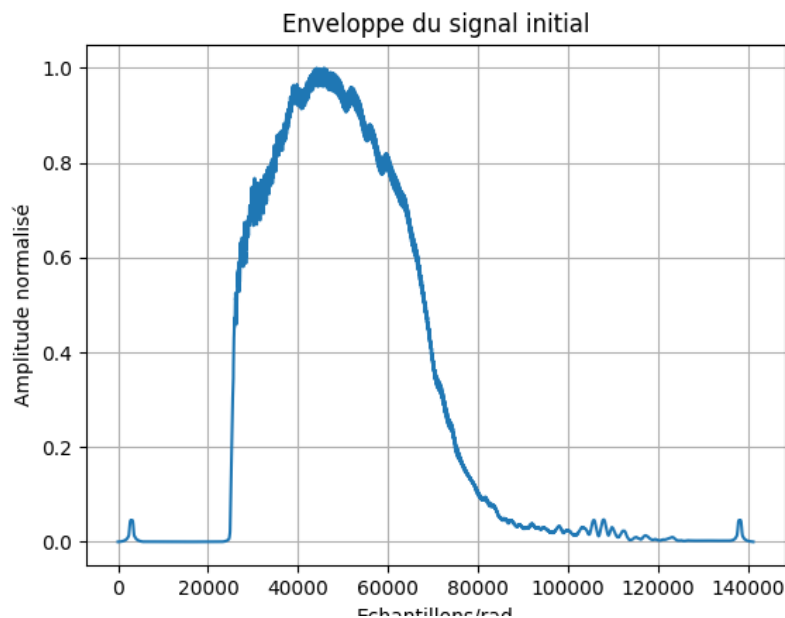
Fréquence (Hz)	Amplitude	Phase
0.0	28.11707686583803	0.0
480.2382133995037	80.49290891867341	2.2365296397781345
960.4764267990074	27.568160414931935	2.1197662516500237
1440.7146401985112	41.11916774386974	-3.0167341709448956
1920.9528535980148	31.011075077662817	-0.8082074943595374
2401.1910669975186	6.247368091100329	2.260698799438894
2881.4292803970225	15.57351980174773	2.506495936784534
3361.6674937965263	13.750812600030775	3.006317582950155
3841.9057071960297	1.068013472716696	-0.05753148528732808
4322.143920595534	0.2678008650944566	1.9699592501697991
4802.382133995037	2.8276791872849136	3.1134679218014933
5282.620347394541	-10.290774480417921	-0.5113012131138718
5762.858560794045	1.718689991524756	-2.0319276640594044
6243.096774193548	5.099948517636239	-2.236147939553607
6723.334987593053	-5.665045838154178	0.5403561325710227
7203.573200992556	5.079433411628706	0.9385826436950505
7683.811414392059	1.9963217100509185	-2.644076343492409
8164.049627791564	3.5184570026174717	0.006989604765986619
8644.287841191068	-1.94324336613177	2.589330519565841
9124.526054590571	-3.637330054693684	-0.41094749597363694
9604.764267990075	-11.477565661233108	1.7370217839782913
10085.002481389578	5.300471249983526	3.030994836447982
10565.240694789081	-4.347664817268176	-0.9778456969441093
11045.478908188587	-10.942745449479887	1.263670671756913
11525.71712158809	-14.078009890028975	1.773603356125495
12005.955334987933	-3.4854385082220194	1.9232289022363673
12486.193548387097	-15.18563016446863	2.17392970719128
12966.4317617866	-16.123302983616405	0.5074492821449904
13446.669975186105	-20.51536785494524	-1.904456724283375
13926.908188385609	-16.71817436132876	-2.541353062483247
14407.146401985112	-7.322421939928478	1.6448291798448718
14887.384615384615	-12.13254350574436	3.1398748116706834
15367.622828784119	-26.6926117327684	1.0994933816914707

(iii) montrez sur un graphique les enveloppes temporelles obtenues. Assurez-vous que tous les axes sont identifiés clairement avec variables et unités.

Enveloppe LA#



Enveloppe Basson



Filtre FIR pour extraire l'enveloppe du signal redressé

(i) donnez vos calculs et explications de la longueur N du filtre,

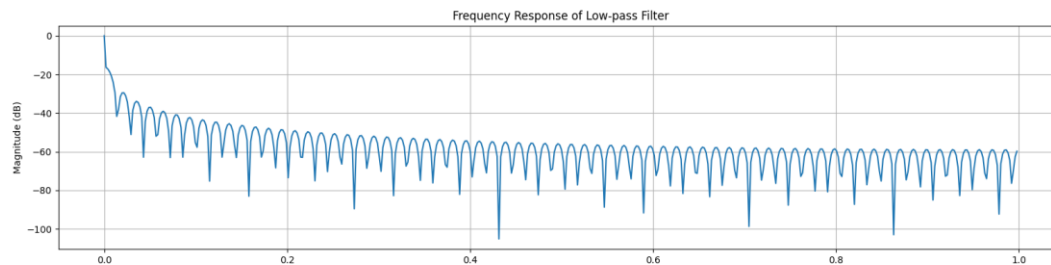
Puisque nous savons que tous les coefficients sont égaux nous avons

$$G(w) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} e^{-jwn}$$

Le code test plusieurs valeurs de N jusqu'à temps que $G(w)$ donne 0.707 qui correspond à -3db.

Étant donné que dans les spécifications, nous devons avoir 1 de gain à 0hz (garder le DC), nous multiplions par le terme $1/N$.

(ii) donnez le graphique de la réponse en fréquence (amplitude seule, en dB). Assurez-vous que tous les axes sont identifiés clairement avec variables et unités.



Filtre coupe-bande FIR avec équations de transformation :

(i) fournir l'équation aux différences et le calcul des valeurs des coefficients

Trouver l'équation des différences démarre avec l'équation d'un filtre passe bas:

$$h[n] = \frac{\sin\left(\frac{\pi n K}{N}\right)}{N \sin\left(\frac{\pi n}{N}\right)} \text{ (sauf pour } n=0, \text{ où } h[n] = \frac{K}{N})$$

Maintenant, cette réponse impulsionnelle peut être utilisée pour trouver l'équation de la réponse impulsionnelle du filtre coupe-bande.

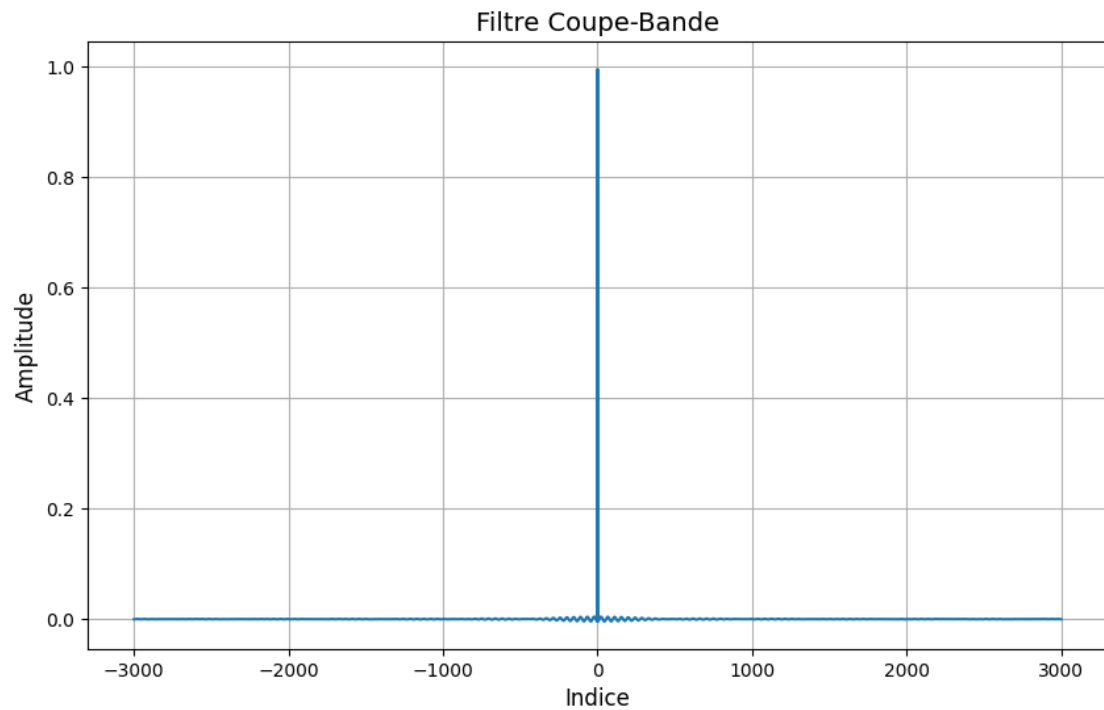
$$h[n] = \delta[n] - 2h[n] \cos(\omega_0 n)$$

Pour calculer les coefficients, on utilise $\omega_0 = 2\pi \cdot \frac{f_0}{f_e}$ et n qui constitue les indexes individuels d'un array allant de $-N/2$ à $N/2$.

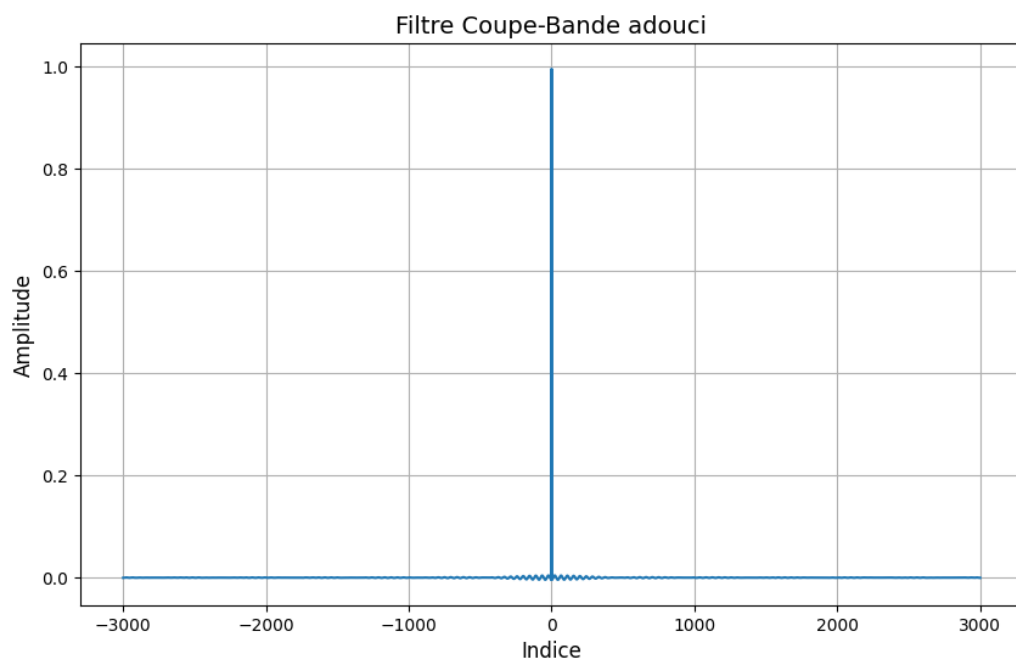
Pour finir, K est calculé à l'aide de $K = 2 \cdot m + 1$, où m est trouvé à l'aide de $m = f_1 \cdot \frac{N}{f_e}$

(ii) tracer réponse à l'impulsion $h(n)$,

À l'aide de python, on trouve la réponse impulsionnelle du filtre coupe-bande à l'aide des étapes mentionnées au point précédent. NOTE: ces derniers calculs sont faits dans le fichier rapport.py. Voici le graphique de cette réponse impulsionnelle:

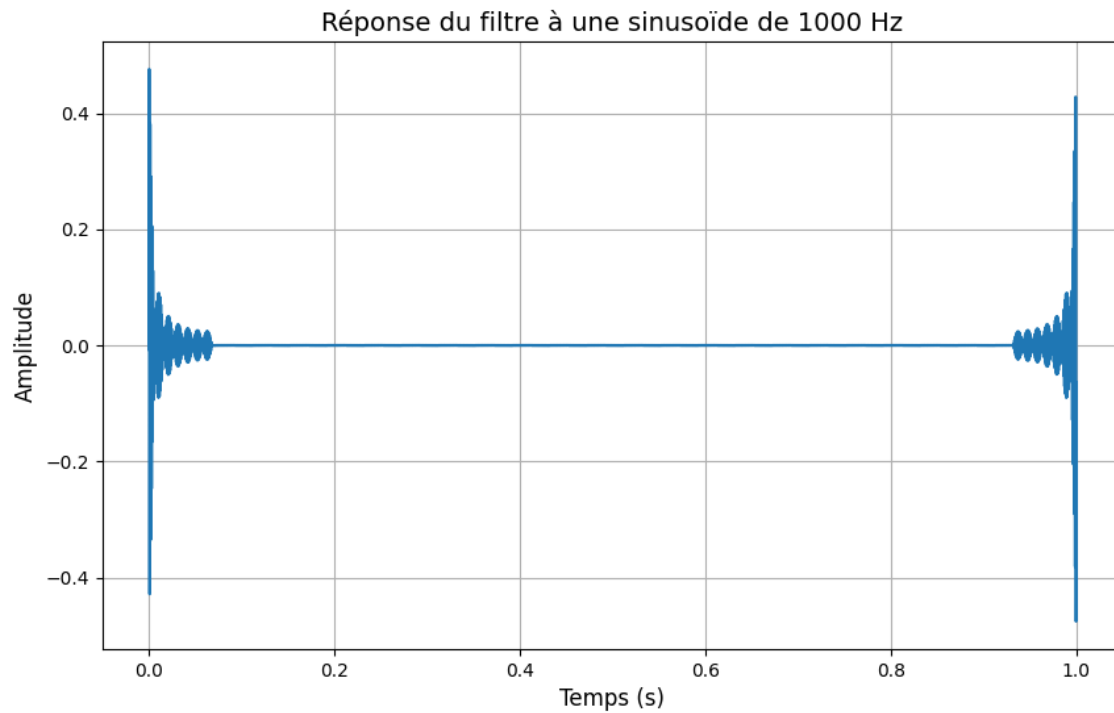


Pour adoucir celui-ci, on peut appliquer une fenêtre de Hann:



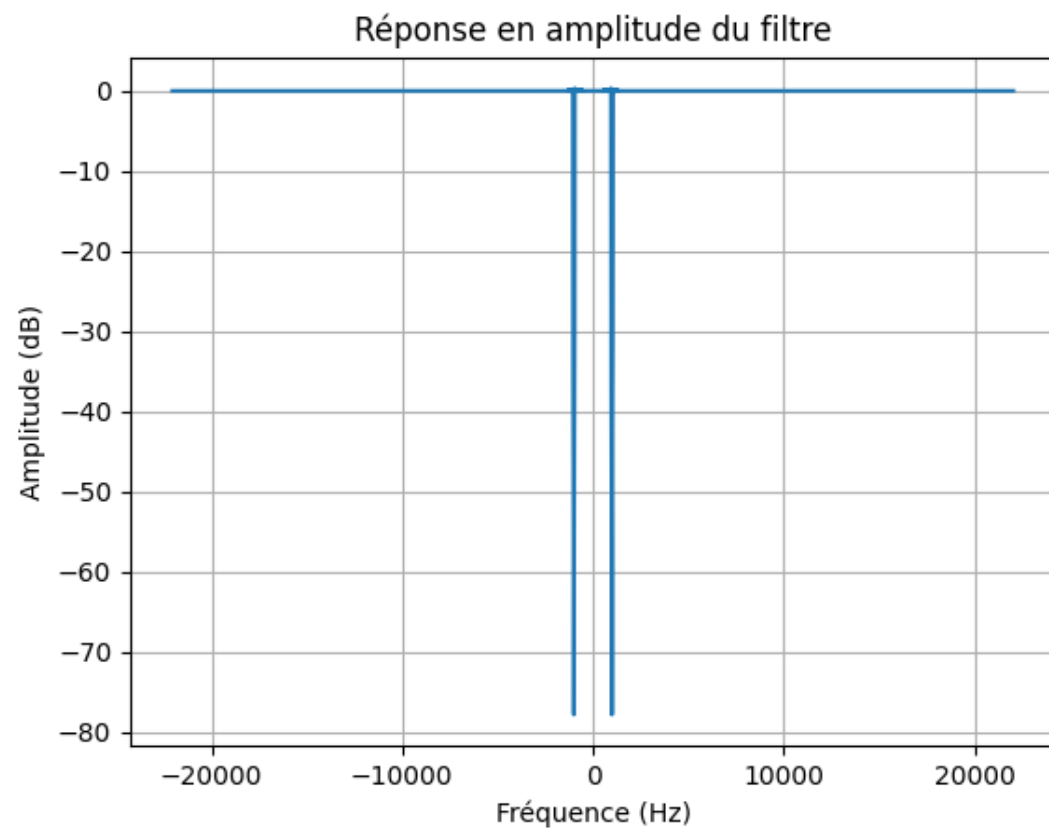
(iii) tracer la réponse à une sinusoïde de 1000 Hz,

Voici la réponse à une sinusoïde de de 1000 Hz. Pour l'obtenir, il suffit de faire la convolution entre le filtre et la sinusoïde de 1000 Hz:

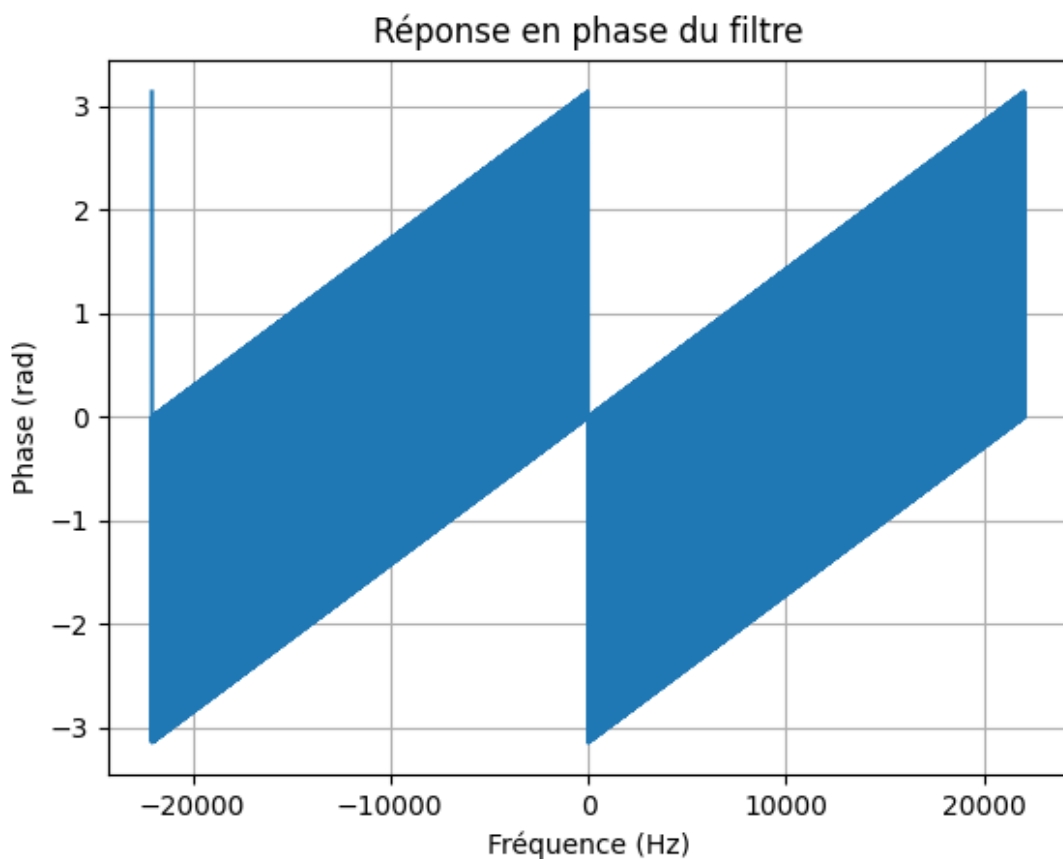


(iv) tracer graphiques amplitude et phase de la réponse en fréquence

Voici le graphique de l'amplitude en fréquence. Pour l'obtenir, il suffit de faire la multiplication de la fonction de transfert (domaine fréquentiel) avec le signal (dans le domaine fréquentiel). Voici donc la réponse en amplitude:

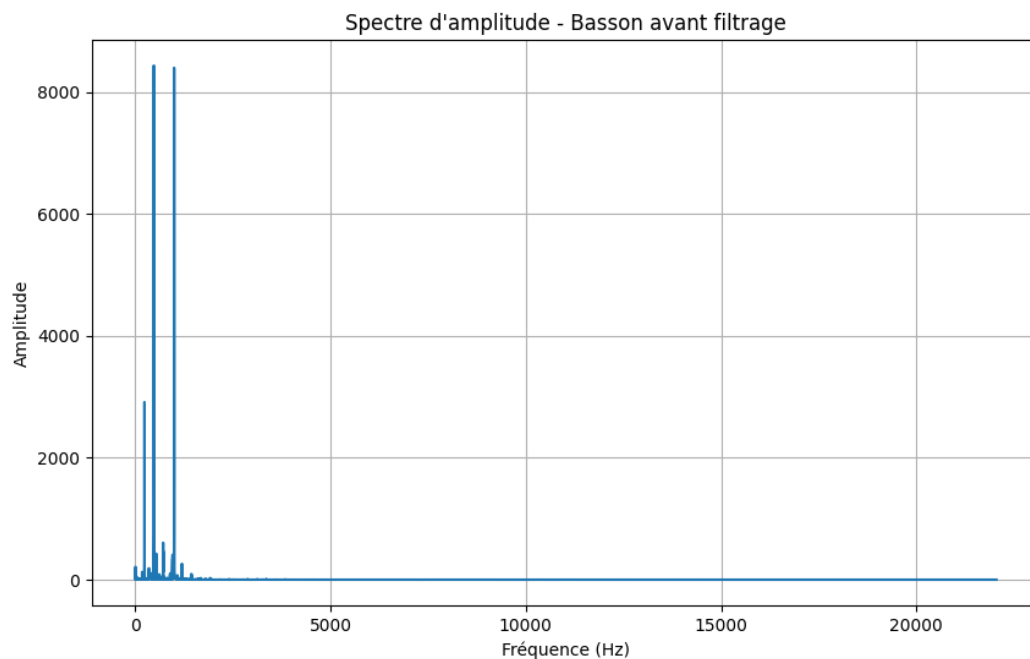


De la même manière, voici la phase de la réponse du fréquence:

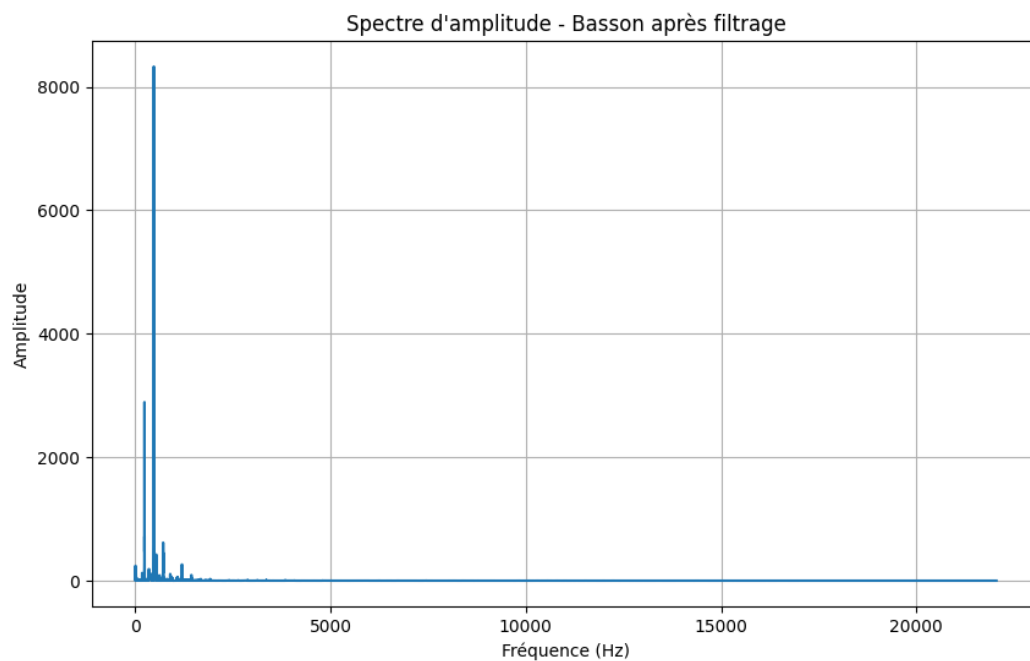


(v) tracer spectres d'amplitude des signaux basson avant et après filtrage. Assurez-vous que tous les axes sont identifiés clairement avec variables et unités.

Ces démarches sont faites dans le fichier `basson.py`. Voici le spectre d'amplitudes des signaux basson avant filtrage:



Et finalement, voici les signaux après filtrage:



Conclusion

En conclusion, les méthodes d'extraction et de synthèse appliquées ont permis de reconstruire les signaux d'une note de guitare et d'un basson (quoiqu'avec certaines imperfections mineures).