

TP1 FILTRAGE - MOUSSAOUI

PROCACCIA PAUL & LEPOURTOIS BENJAMIN

École Centrale Nantes SEC2

Table des matières

1. OBJECTIF	2
2. FILTRAGE D'UNE GAMME AUDIO	3
2.1. Filtrage passe-bas analogique	3
2.1.1. Calcul des ordres des filtres	3
2.1.2. Tracer des filtres	4
2.1.3. Application des filtres	4
2.1.4. Tracer le signal filtré avec son spectre	5
2.1.5. Même analyse avec des Δp et Δf différents	6
2.2. Élimination d'une note par filtrage coupe bande	10
2.2.1. Synthétisation de filtre numérique coupe-bande de type Chebyshev 2	10
2.2.2. Tracer l'allure temporelle et les spectres d'amplitudes de la gamme filtrée avec un filtre RII	10
2.2.3. Réaliser les mêmes opérations avec une autre fonction avec un filtre RIF	11
2.2.4. Comparatif entre les deux types de filtre	12

1. Objectif

Ces travaux pratiques ont pour objectif d'analyser les différent types de filtres et de réaliser le filtrage d'un signal audio. Le but est de savoir manipuler les fonctions disponibles sous Matlab pour synthétiser un filtre satisfaisant un gabarit imposé, l'appliquer au filtrage d'un signal et enfin vérifier son bon fonctionnement.

2. Filtrage d'une gamme audio

Les notes musicales d'un piano peuvent être synthétisées numériquement. Dans une version simplifiée, chaque note est produite par un signal sinusoïdal dont la fréquence est précisée dans le tableau ci-dessous. Une fonction **gamme.m** permettant de générer une gamme de musique est fournie sur le serveur pédagogique.

Note	Do	Ré	Mi	Fa	Sol	La	Si	Do
Fréquence (Hz)	262	294	330	349	392	440	494	523

Figure 1 : Tableau de note et de fréquence

On génère une gamme d'une durée de 1s par note avec une fréquence d'échantillonnage $f_e = 8192 \text{ Hz}$

2.1. Filtrage passe-bas analogique

On souhaite utiliser des filtres analogiques pour éliminer les trois dernières notes de la gamme. On retiendra les spécifications suivantes :

$A_p = 3 \text{ dB}$, $A_a = 40 \text{ dB}$, $f_c = 420 \text{ Hz}$ et $\Delta f = 100 \text{ Hz}$.

Afin de comparer les quatre types de filtres (Butterworth, Chebyshev de type 1 ou 2 et Cauer).

2.1.1. Calcul des ordres des filtres

On va calculer chaque filtre pour prendre le plus avantageux :

```
>> Filtre_PB_analog
Ordre du filtre de Butterworth : 20
Ordre du filtre de Chebyshev de type 1 : 8
Ordre du filtre de Chebyshev de type 2 : 8
Ordre du filtre de Cauer : 5
```

On en déduit donc que le filtre de **Cauer** est le plus avantageux car il a le plus petit ordre.

2.1.2. Tracer des filtres

On trace les 4 filtres sur le même graphique avec les réponses fréquentielles en amplitude :

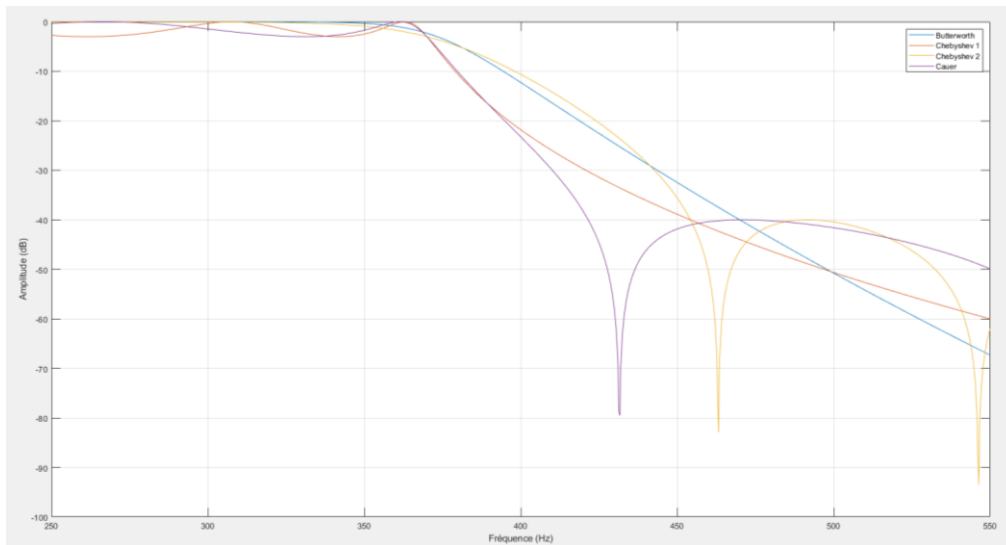


Figure 2 : Réponses fréquentielles en amplitude

Butterworth : réponse plate dans la bande passante et avec une atténuation maximale dans la bande atténuée

Chebyshev 1 : réponse ondulatoire dans la bande passante et atténuation maximale dans la bande atténuée, pente plus raide que Butterworth

Chebyshev 2 : réponse plate dans la bande passante et atténuation ondulatoire dans la bande atténuée, pente plus raide que Butterworth

Cauer : réponse ondulatoire dans la bande passante et dans bande atténuée

Rappel : les ondulations peuvent créer des problèmes de distorsion.

On remarque évidemment qu'on respecte le gabarit défini par le $A_p = 3 \text{ dB}$,

$A_a = 40 \text{ dB}$, $\Delta f = 100 \text{ Hz}$ et $f_c = 420 \text{ Hz}$

Donc on a bien le $f_p = 370 \text{ Hz}$ et $f_a = 470 \text{ Hz}$.

2.1.3. Application des filtres

On applique les filtres au signal audio synthétique. Après écoute on se rend compte que sur les 4 filtres les 2 dernières notes sont pratiquement supprimées (on ne peut pas joindre de fichier audio, il faut nous croire !).

2.1.4. Tracer le signal filtré avec son spectre

On se focalise sur les fréquences entre 250Hz et 550Hz. Voici ce que l'on obtient :

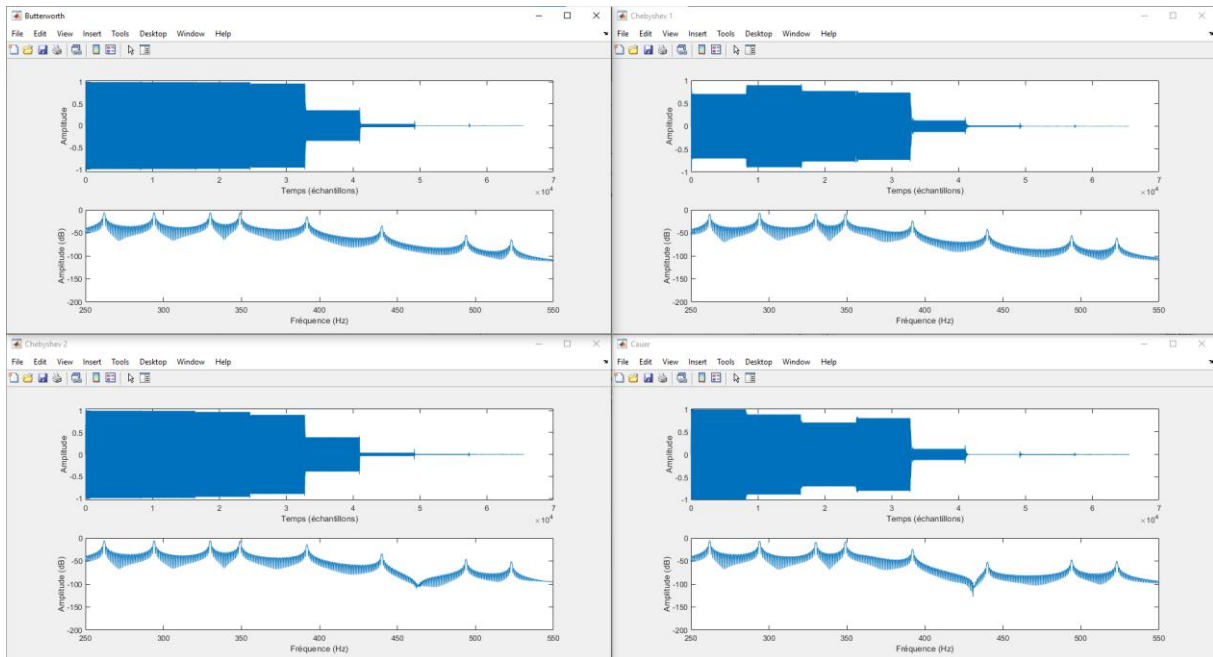


Figure 3 : Signal filtré avec son spectre d'amplitude selon le filtre appliqué

On voit bien qu'après notre $f_c = 420\text{Hz}$, qu'on a l'atténuation des 3 dernières notes. En plus de la visualisation des caractéristiques des filtres que nous avons cité précédemment (réponse ondulatoire pour certaine bande pour certain filtre).

2.1.5. Même analyse avec des A_p et Δf différents

1^{er} cas : $A_p = 3dB$ et $\Delta f = 20 Hz$

On calcul les ordres des filtres :

```
Ordre du filtre de Butterworth : 97
Ordre du filtre de Chebyshev de type 1 : 18
Ordre du filtre de Chebyshev de type 2 : 18
Ordre du filtre de Cauer : 7
```

Ici on voit que le filtre de **Cauer** est toujours le plus efficace et que les ordres des filtres ont augmenté à cause d'un gabarit plus exigeant.

Ensuite on trace les réponses fréquentielles :

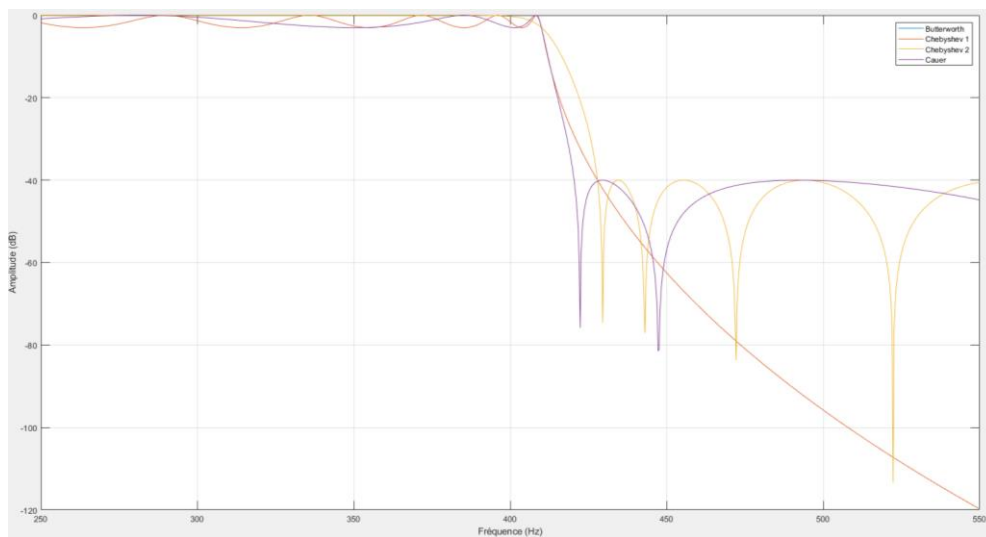


Figure 4 : Réponse fréquentielle des 4 filtres

/ ! \ REMARQUE : Matlab n'a pas réussi à synthétiser notre filtre Butterworth à cause de son ordre trop élevé !

Ici on voit bien qu'on respecte le gabarit défini par le $A_p = 3 dB$, $A_a = 40 dB$, $\Delta f = 20 Hz$ et $f_c = 420Hz$
Donc on a bien le $f_p = 410Hz$ et $f_a = 430Hz$.

On remarque qu'il y a plus d'ondulations sur les réponses fréquentielles des filtres car on a plus contraint le gabarit (donc l'ordre des filtres à augmenter également) en réduisant le Δf .

On écoute et on déduit :

On applique les filtres au signal audio synthétique. Après écoute on se rend compte que sur les 4 filtres les 2 dernières notes sont pratiquement supprimées. La coupure entre les notes est plus marquée que pour notre 1^{er} gabarit.

Maintenant on se focalise sur les fréquences entre 250Hz et 550Hz :

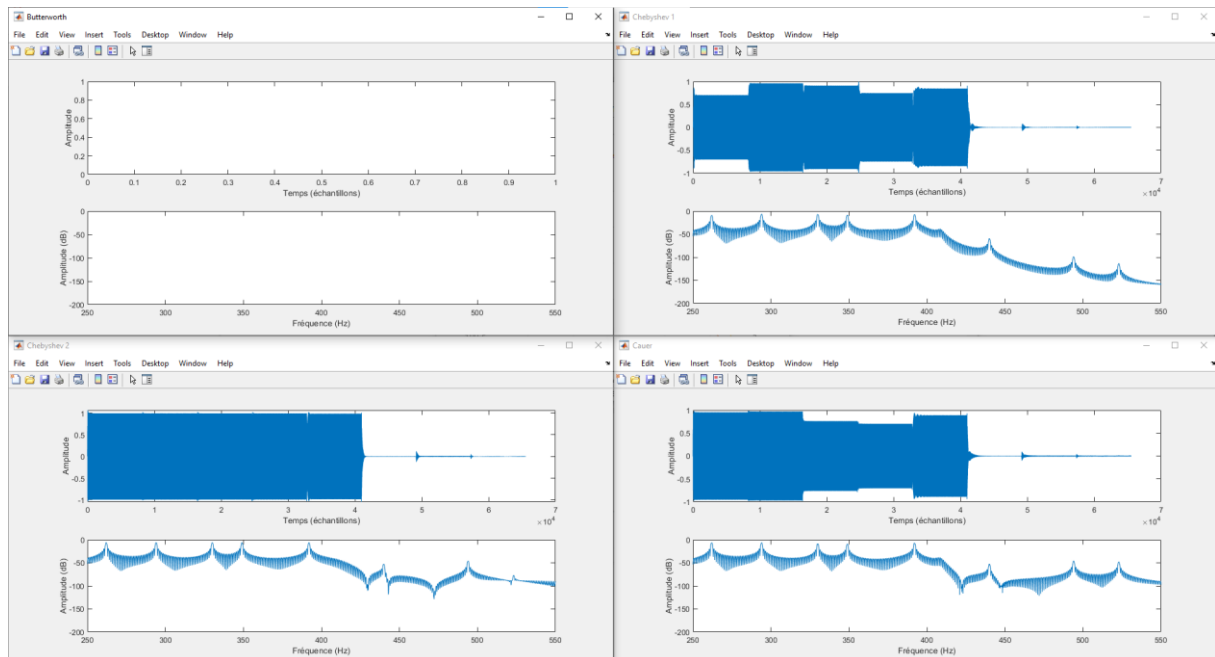


Figure 5 : Signal filtré avec son spectre d'amplitude selon le filtre appliqué

On voit bien qu'après notre $f_c = 420\text{Hz}$, qu'on a l'atténuation des 3 dernières notes. En plus de la visualisation des caractéristiques des filtres que nous avons cité précédemment. On voit aussi que la coupure entre les notes est bien plus marquée. De plus le filtre de Butterworth possédant un ordre beaucoup trop élevé par la contrainte plus exigeante du gabarit, Matlab ne l'a pas synthétisé donc impossible de filtrer notre signal !

2^{ème} cas : $A_p = 1\text{dB}$ et $\Delta f = 20\text{ Hz}$

On calcul les ordres des filtres :

```
Ordre du filtre de Butterworth : 111
Ordre du filtre de Chebyshev de type 1 : 20
Ordre du filtre de Chebyshev de type 2 : 20
Ordre du filtre de Cauer : 7
```

Ici on voit que le filtre de **Cauer** est encore et toujours le plus efficace et que les ordres des filtres ont encore augmenté à cause d'un gabarit encore plus exigeant.

Ensuite on trace les réponses fréquentielles :

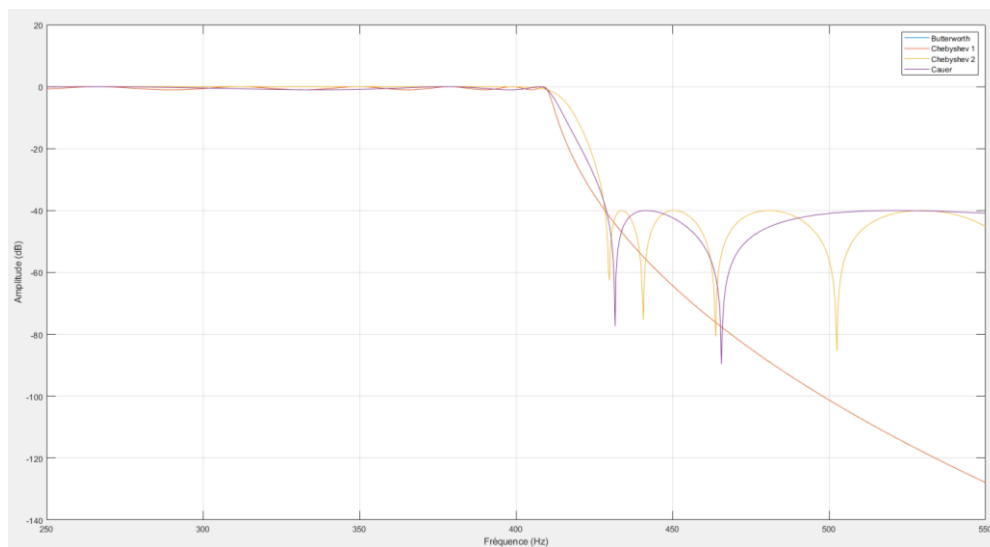


Figure 6 : Réponse fréquentielle des 4 filtres

Ici on voit bien qu'on respecte le gabarit défini par le $A_p = 1\text{ dB}$, $A_a = 40\text{ dB}$, $\Delta f = 20\text{ Hz}$ et $f_c = 420\text{ Hz}$
Donc on a bien le $f_p = 410\text{ Hz}$ et $f_a = 430\text{ Hz}$.

On remarque qu'il y a plus d'ondulations sur les réponses fréquentielles des filtres car on a plus contraint le gabarit en réduisant le Δf . Ici avec le A_p plus faible on vient jouer sur l'amplitude des ondulations dans la bande passante.

On écoute et on déduit :

On est dans le même cas que celui présenté précédemment. On remarque une légère différence au niveau des notes dans la bande passante qui sont moins atténuées. Par exemple pour le filtre Cauer, on retrouve mieux le Mi et le Fa respectivement 330 et 349 Hz.

Maintenant on se focalise sur les fréquences entre 250Hz et 550Hz :

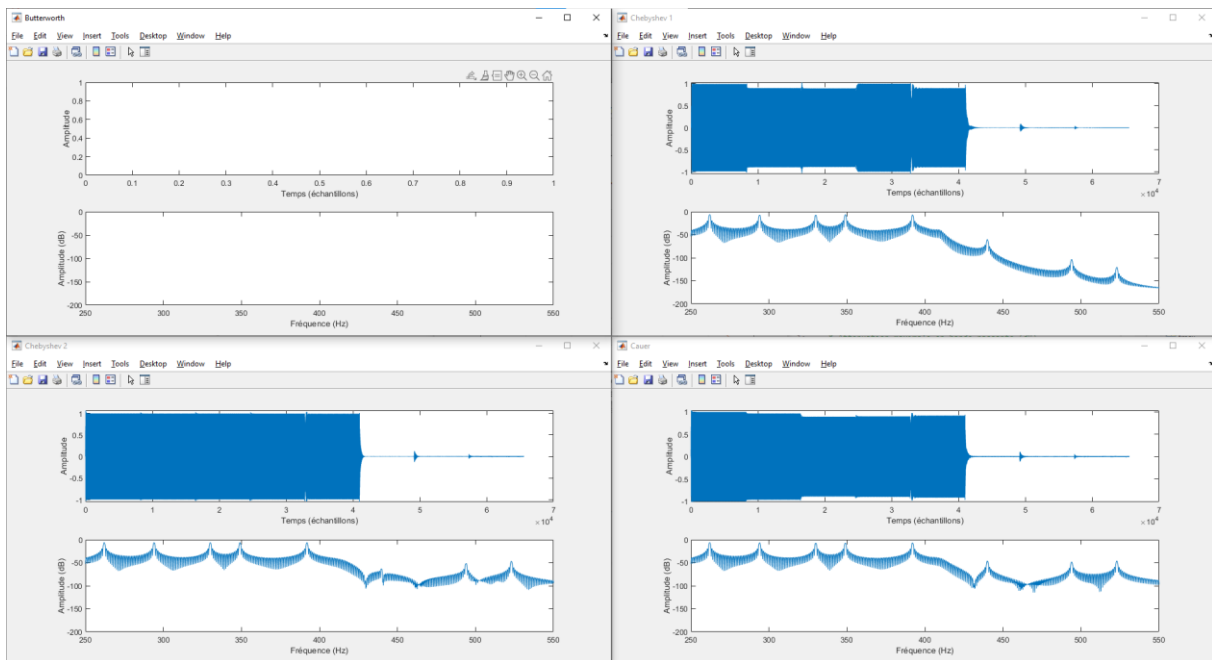


Figure 7 : Signal filtré avec son spectre d'amplitude selon le filtre appliqué

On voit bien qu'après notre $f_c = 420\text{Hz}$, qu'on a l'atténuation des 3 dernières notes. En plus de la visualisation des caractéristiques des filtres que nous avons cité précédemment. On voit aussi que la coupure entre les notes est bien marquée. De plus le filtre de Butterworth possédant un ordre beaucoup trop élevé encore par la contrainte plus exigeante du gabarit, Matlab ne l'a pas synthétisé donc impossible de filtrer notre signal ! On remarque également que les ondulations dans la bande passante sont beaucoup moins présentes notamment sur les notes Mi et Fa respectivement 330 et 349 Hz.

2.2. Élimination d'une note par filtrage coupe bande

On souhaite éliminer une seule note de la gamme musicale et on utilisera des filtres numériques RII puis des filtres numériques RIF dans un second temps.

2.2.1. Synthétisation de filtre numérique coupe-bande de type Chebyshev 2

Ici on cherche à éliminer la note FA de la gamme musicale. On retiendra les spécifications suivantes :

$$f_c^b = 340\text{Hz}, f_c^h = 360\text{Hz}, \Delta f_b = \Delta f_h = 10\text{Hz}, A_p = 1\text{dB}, A_a = 40\text{dB}$$

2.2.2. Tracer l'allure temporelle et les spectres d'amplitudes de la gamme filtrée avec un filtre RII

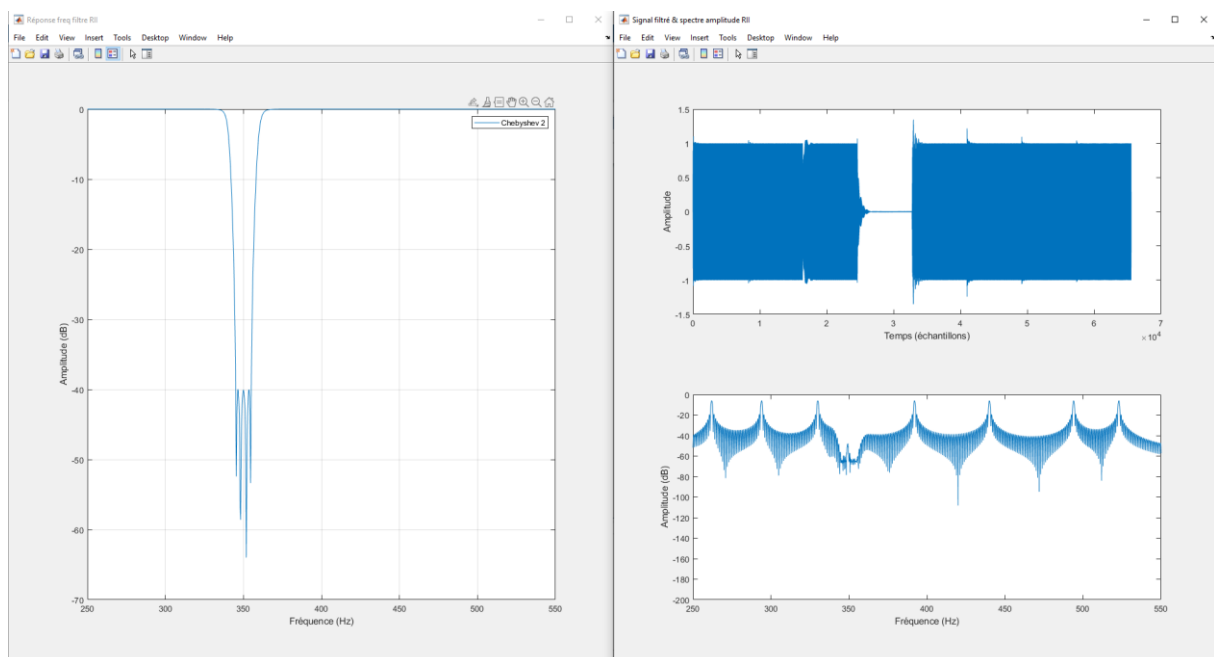


Figure 8 : Allure temporelle et spectre d'amplitude de la gamme filtrée avec un filtre RII

On voit bien sur le graphe de gauche que l'on filtre aux alentours des 350Hz. Et sur les deux graphes de droite, on retrouve bien la même information, qui correspond à la note Fa 349 Hz.

2.2.3. Réaliser les mêmes opérations avec une autre fonction avec un filtre RIF

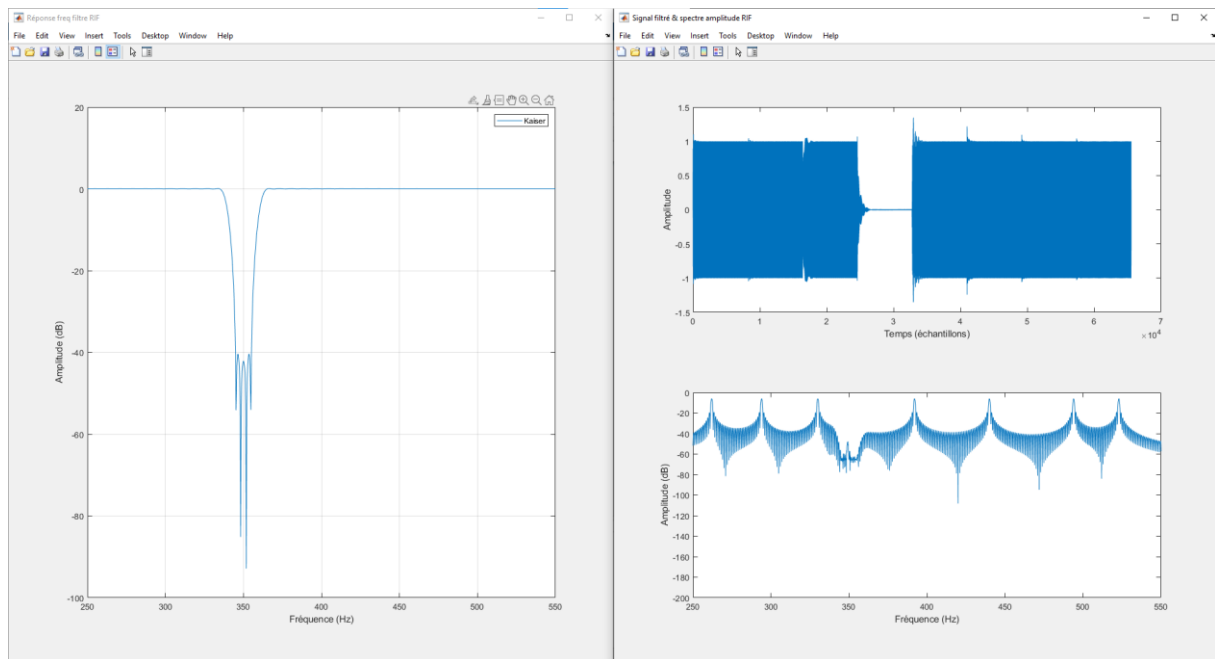


Figure 9 : Allure temporelle et spectre d'amplitude de la gamme filtrée avec un filtre RIF

On a du mal à distinguer des différences pour l'instant entre le filtre numérique RII et le filtre numérique RIF.

2.2.4. Comparatif entre les deux types de filtre

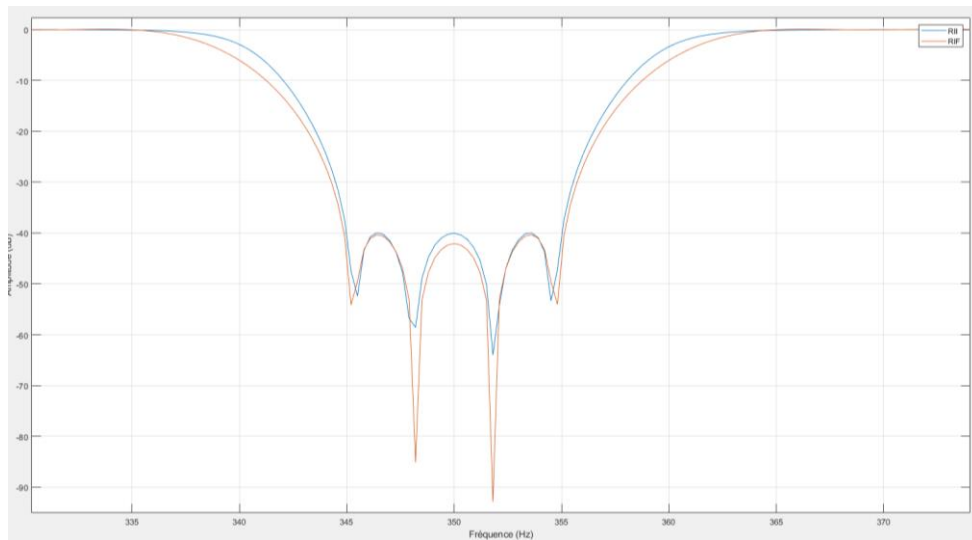


Figure 10 : Comparaison entre les deux types de filtre RII et RIF

On a zoomé sur la partie filtrée pour avoir plus de détails et de précision sur notre signal. On peut voir que le RIF a plus d'atténuation dans la bande atténuée que le RII. En revanche le RII a une largeur de bande légèrement plus large que le RIF.