TRAITEMENT DU SIGNAL
<< ACCORDEUR DE GUITARE >>

Realisé par : ZAIDI Nour-Eddine et SALHI Elmootez Belleh
ELAMRI Mohamed
Encadré par : Prof. JACQUEMARD Alain
3A IT ROB

ESIREM
ÉCOLE SUPÉRIEURE D'INGÉNIEURS
NUMÉRIQUE ET MATÉRIAUX

Table des matières

I. Introduction générale et objectifs :

La guitare et ses innombrables variantes comptent parmi les instruments de musique les plus populaires. Mais savez-vous comment une guitare produit du son ?

Les détails du fonctionnement diffèrent selon que la guitare est électrique ou acoustique, mais dans les deux cas, tout commence par la vibration d’une corde. Cette corde oscille d’une manière précise, qu’on peut prédire grâce à ses caractéristiques et aux lois de la physique.

Nous allons étudier quelques aspects d'un accordeur de guitare. La problématique est la suivante.

— La guitare comporte six cordes : Mi grave, La, Ré, Sol, Si, Mi aigu.

— Les fréquences fondamentales théoriques de vibration de ces cordes, notées f_{ac} sont données dans le tableau 1.

Corde	Fréquence (f_{ac})
Mi grave	82,4 Hz
La	110,0 Hz
Ré	146,8 Hz
Sol	196 Hz
Si	246,9 Hz
Mi aigu	329,6 Hz

Tableau 1 : Fréquences fondamentales de vibration des cordes de guitare

Objectifs

II. Principe de l'accordeur

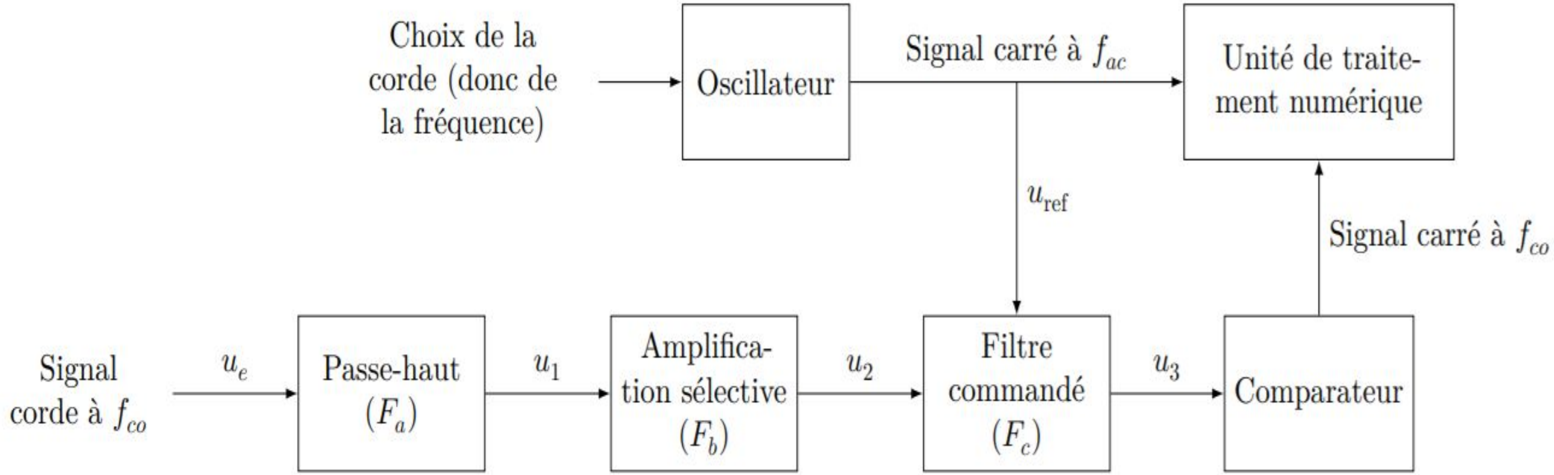


Figure 1 *: Principe de fonctionnement de l'accordeur de guitare*

III. Le signal

La figure 2 montre un exemple de signal électrique à la sortie du micro d’une guitare électrique :

Il s'agit de la corde Mi aigu désaccordée. Ce spectre contient des fréquences multiples de la fréquence fondamentale appelées harmoniques.

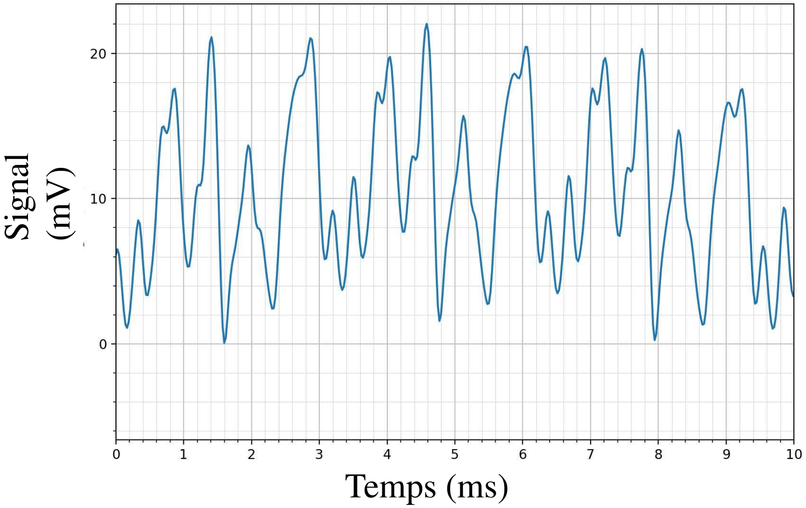


Figure 2 *Signal de la guitare*

IV. Premier filtre

Avant toute chose, le signal électrique provenant du micro de la guitare est envoyé sur le filtre de la figure 3 (filtre (Fa)). Le type du filtre est un passe haut de transmittance et de pulsation de coupure :

$$H_1(jw) = \frac{jR_1C_1w}{1+jR_1C_1w}$$

$$w_1 = \frac{1}{R_1C_1}$$

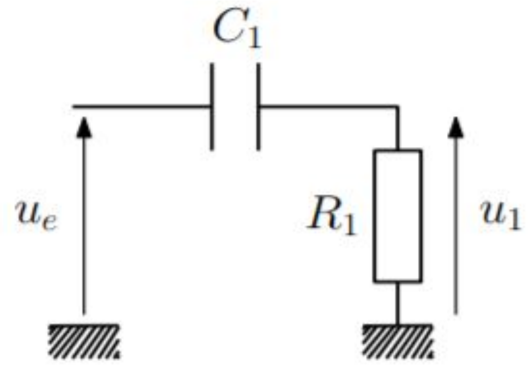


Figure 3:*Filtre (Fa)*

On a choisi $R1$ = 100 kΩ et $C1$ = 100 nF, donc la frequence de coupure est:

$$f_1 = \frac{w_1}{2\pi} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^5 \cdot 10^{-7}} = 16Hz$$

Cette fréquence de coupure est tres basse. Elle sert à éliminer la partie continue du signal (sa valeur moyenne).

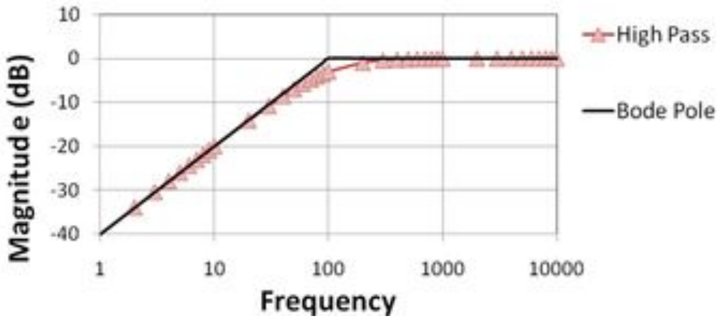


Figure 4: *Diagramme de bode relatif au gain.*

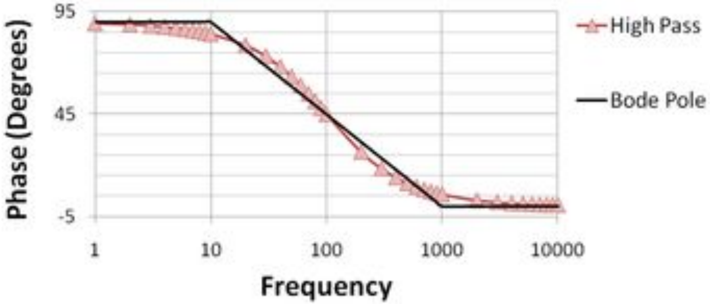
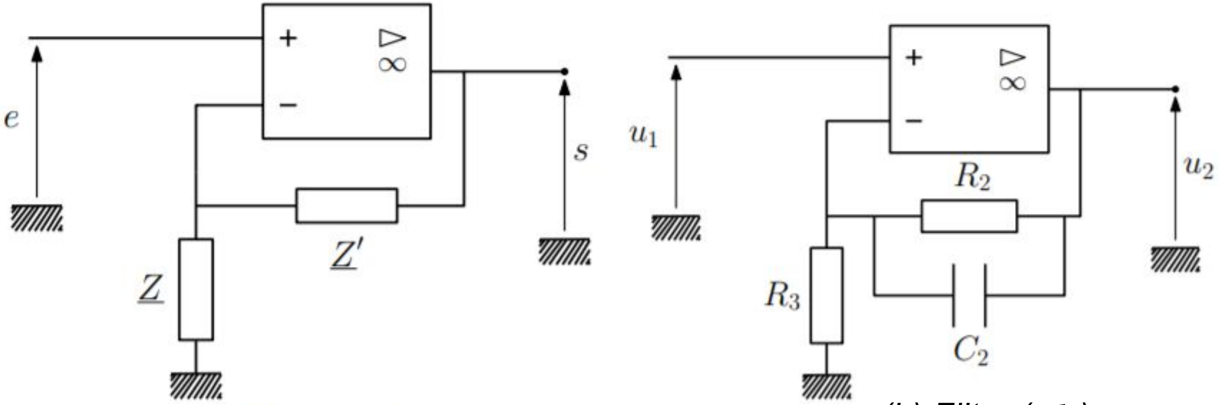


Figure 2: *Diagramme de phase relatif à la phase*

V. Deuxième filtre

Dans cette sous-partie, les signaux sont sinusoïdaux et les amplificateurs linéaires intégrés sont supposés idéaux et fonctionnent en régime linéaire.



(a) Filtre à ALI

(b) Filtre (*Fb*)

Figure 4 *Deux filtres*

L'AO est idéal bouclé $\Rightarrow$ Il fonctionne en régime linéaire. D'oú: i+=i-=0 A et ε=V+=V-=0.

Donc et d'après la loi de diviseur de tensions:

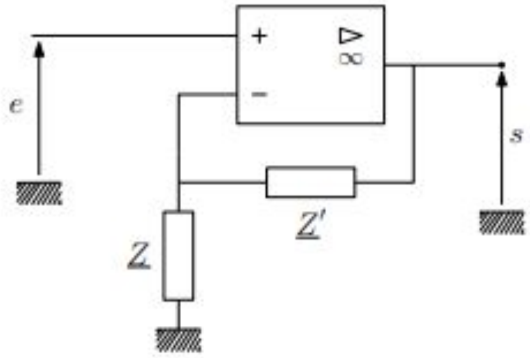
$$e = \frac{Z}{Z+Z\prime} s$$

Et la transmittance s'écrit:

$$H = \frac{s}{e} = 1 + \frac{Z}{Z\prime}$$

Si Z=R et Z'=R' alors:

$$H = 1 + \frac{R}{R\prime}$$



(a) Filtre à ALI

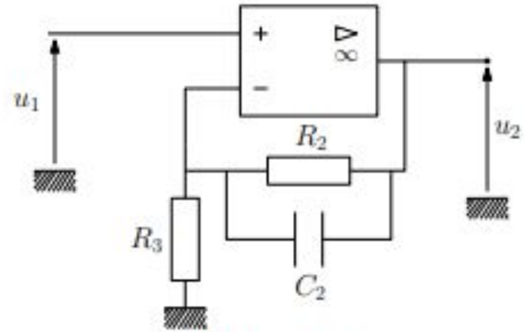
Donc |H|>1 et Φ=0. Par consequent, la tension d'entree est amplifiee sans deformation par rapport a la sortie et ils sont en phase.

L'AO est idéal en régime linéaire bouclé ⇒ Il fonctionne en régime linéaire. D'oú: i+=i-=0 A et ε=V+=V-=0.

La transmittance s'écrit:

$$H_2 = 1 + \frac{R_2}{1+jR_2C_2w} \cdot \frac{1}{R_3} = 1 + \frac{G_0}{1+j\frac{w}{w_0}}$$

avec: $G_0 = \frac{R_2}{R_3}$ et $w_2 = \frac{1}{R_2C_2}$



(b) Filtre (F_b)

En basses fréquences, on a: $|H_2| \# 1 + G_0$ et en hautes fréquences on a:

$$|H_2| \sim \sqrt{\left(1 + \left(G_0 \frac{w_2}{w}\right)^2\right)}$$

On a choisi $R2$ = 680 kΩ, $R3$ = 6 kΩ et $C2$ = 470 pF. Donc:

$$f_2 = \frac{w_2}{2\pi} = \frac{1}{2\pi R_2 C_2} = 500Hz \quad \text{et} \quad G_0 = \frac{R_2}{R_3} = 113$$

$|H_2|(w)$ est supérieur à 1 quelque soit w $\Rightarrow$ toutes les fréquences sont amplifiés. Cependant dans les hautes fréquences l'amplification est sélective (Elle diminue lorsque la fréquence augmente).

VI. Filtrage (très) sélectif commandé

On souhaite maintenant sélectionner la fréquence fondamentale f_{co} du signal u_2 , dont la valeur est à priori voisine de celle de la fréquence fondamentale théorique de vibration de la corde sélectionnée sur l'accordeur (f_{ac}) (on suppose que la corde est légèrement désaccordée). On suppose pour la suite que c'est la corde Mi aigüe que l'on souhaite accorder.

Le principe du filtre (F_c) est que sa fréquence caractéristique soit réglée par le signal de référence de fréquence f_{ac}. Ce type de commande est appelé commande à capacité commutée.

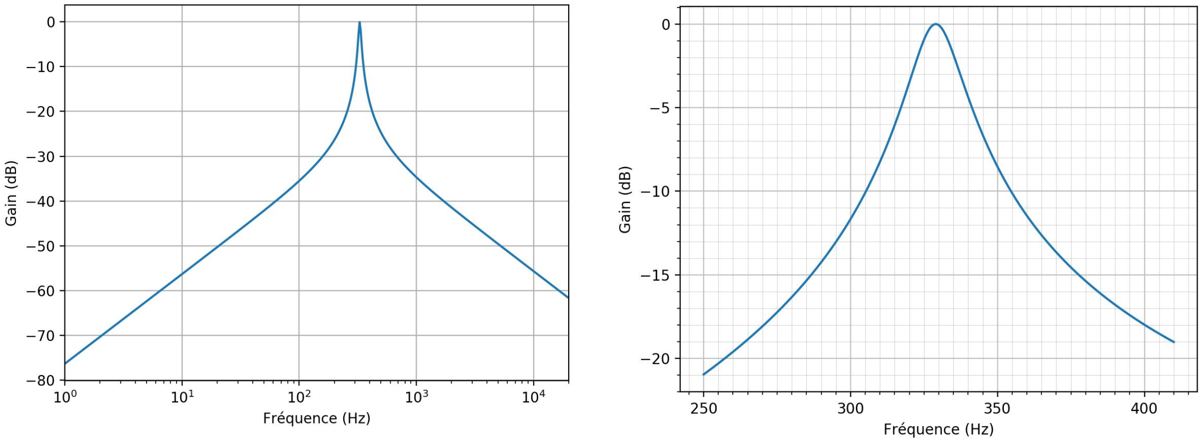
Il s’agit d’un filtre passe-bande de fréquence centrale 300 Hz (mi Aigu). On trouve Gdb(max) = 0 et puisque les fréquence de coupure correspondent à Gdb= 0-3=3db. Alors la largeur de la bande passante à -3db est W=20 Hz.

De même la corde est désaccordée à f_{co} = 315 Hz, et on lit sur le diagramme de Bode du filtre (Figure 5) Gdb = -6db = 20log|H|

$$\Rightarrow = |H| = \frac{1}{2}$$

Alors le fondamentale est atténué d’un facteur 2.

La figure 5 représente le diagramme de Bode relatif au gain du filtre (F_c) tracé à deux échelles différentes.



(a) *(b)*

Figure 5 *Diagramme de Bode en gain du filtre (F_c)*

La figure 6 correspond au spectre du signal d’entrée Ue représenté sur la figure 2 (Signal de la guitare).

Le spectre de la figure 6 possède:

- une composante continue de 10mV.
- un fondamental de fréquence f=330 Hz.
- des harmoniques de fréquences multiples de 330 Hz.

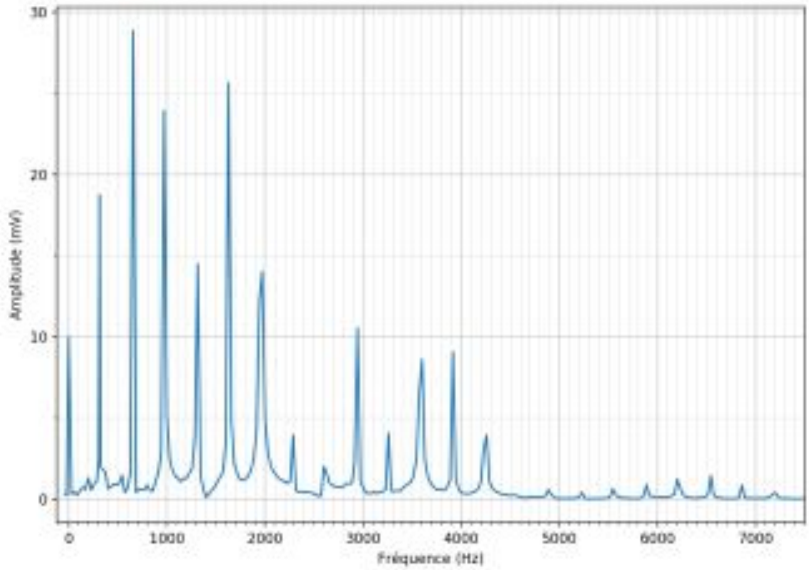


***Figure 6** :Spectre du signal d’entree*

La figure (a) corresponde au spectre du signal en sortie du filtre Fa.
En sortie de Fa la composante continue est éliminée et les autres fréquences (>= 330 Hz donc grandes devant fc=f1=16Hz) sont transmises sans atténuation.

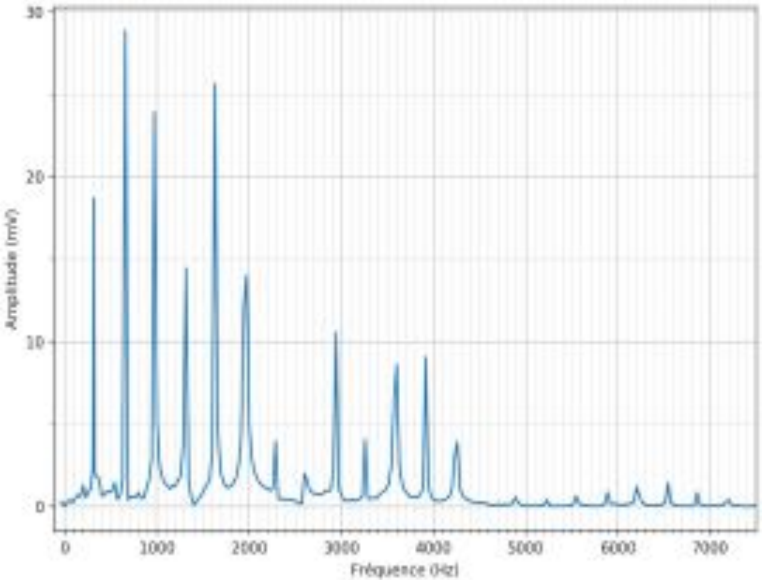


Figure 6(a)

VII. Mise en forme :

À la sortie de l'étage précédent, le signal est donc proche d'un signal sinusoïdal de fréquence fco et d'amplitude dépendant de la force avec laquelle on a gratté la corde, mais de l'ordre du volt. Pour effectuer un traitement numérique qui permettra de comparer fco à la fréquence théorique fac on souhaite fabriquer à partir du signal précédent un signal créneau de fréquence fco. Pour cela, on utilise un comparateur à hystérésis, représenté figure 8.

On note Usat la tension de saturation de l'ALI et on suppose que l'ALI est idéal. Le signal u3 est sinusoïdal alternatif d'amplitude 1 V et de fréquence fco (c'est le signal sortant du filtre sélectif (Fc)).

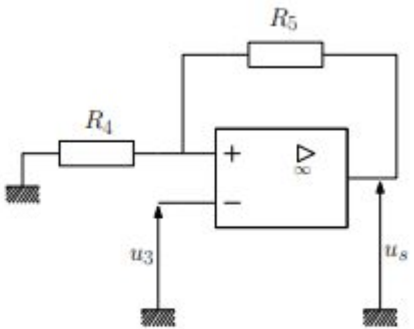


Figure 8: *Comparateur à hystérésis*

L'ALI est idéal et en régime saturé (Ɛ =! 0) Exprimons V+ le potentiel de la borne non inverseuse de l'ALI en fonction de R4 , R5 et Ɛ=V+ - V- :

$$V_+ = \frac{R_4}{R_4+R_5}u_s \qquad \varepsilon = V_+ - V_- = \frac{R_4}{R_4+R_5}u_s - u_3$$

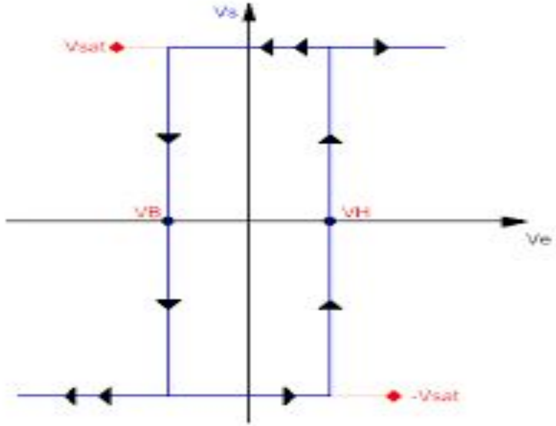


Figure 9: *Cycle d'hystérésis*

Mise en forme

VIII. Analyse technique

L'objectif consiste à accorder la guitare afin que les fréquences générées correspondent bien à ces références. Cela suppose différentes étapes

1. Parvenir à enregistrer un signal sonore
2. Parvenir à analyser la fréquence du signal sonore
3. Afficher la fréquence mesurée

Dans cette partie on a utilisé l'IDE Vscode pour programmer en PYTHON. On a utilisé de même des bibliothèques (Pyaudio, Plot…) et des classes.

Expliquons le choix des librairies et à quoi elles servent:

- Pyaudio nous permet d’utiliser le microphone du pc pour enregistrer l’accord.
- Numpy sert à manipuler des matrices ou tableaux multidimensionnels ainsi que des fonctions mathématiques opérant sur ces tableaux.
- Plot affichage graphique de notre signal.

Nous avons implémenté un algorithme sous Python appelé Accordeur.py. Voici le lien sur Github, veuillez bien vouloir regarder la vidéo que nous avons mis sur Github dans lequel on montre le bon fonctionnement du programme.

https://github.com/Elmootez-Belleh/Accordeur-de-guitare-