

# DS PHYSIQUE - CHIMIE 2    MP<sub>2</sub> 3h

Les calculatrices sont autorisées.

## Problème 1 : Cinétique chimique

On mélange dans un bécher maintenu à la température de 28,8° une solution de peroxydisulfate de sodium ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ ) avec une solution d'iodure de potassium ( $\text{K}^+$ ,  $\text{I}^-$ ).

Il se produit la réaction totale  $3 \text{I}^- + \text{S}_2\text{O}_8^{2-} = \text{I}_3^- + 2 \text{SO}_4^{2-}$ .

Les concentrations initiales sont de 200 mmol/L pour les ions iodure et  $c_0 = 2,24$  mmol/L pour les ions peroxydisulfate.

On obtient, en mesurant la concentration en ions  $\text{I}_3^-$  au cours du temps, les résultats suivants ( x désigne l'avancement de la réaction par unité de volume, exprimé en mmol/L ) :

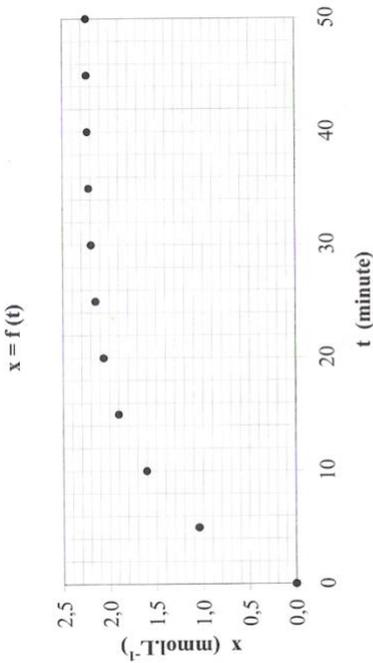


Figure 2

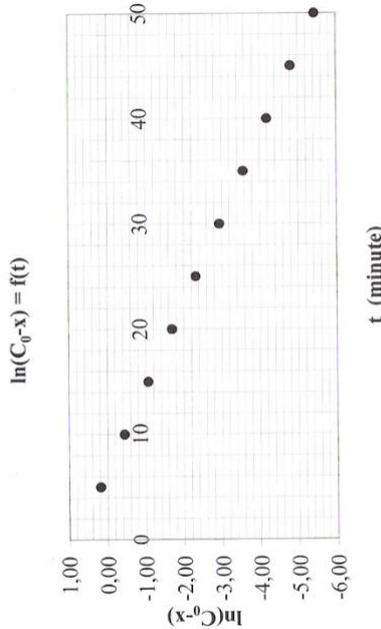


Figure 3

- De quelle espèce ( $c_0 - x$ ) donne-t-elle la concentration ?
- Comment est définie la vitesse ( volumique ) de la réaction ? Quel est son lien avec les dérivées par rapport au temps des différentes concentrations des réactifs et produits ?
- Donner la loi de vitesse de cette réaction en notant p et q les ordres partiels par rapport aux ions iodure et peroxydisulfate.
- Expliquer pourquoi on peut négliger l'influence sur la vitesse de la réaction de la concentration en ions iodure. Donner la loi de vitesse en introduisant une constante de vitesse apparente.
- Etablir l'équation différentielle vérifiée par l'avancement volumique x.
- A partir des résultats ci dessus, déterminer l'ordre partiel q par rapport aux ions peroxydisulfate. Détailler soigneusement la démarche suivie.
- Connaissant maintenant l'ordre q , résoudre l'équation différentielle de la question 5.
- Déterminer la valeur de la constante de vitesse apparente.
- On refait l'expérience avec la même température ( 28,8°C ) et une concentration initiale en ions iodure de 400 mmol/L. On trouve alors une constante de vitesse apparente égale à 0,249 min<sup>-1</sup> . Déterminer l'ordre partiel p ( ordre partiel par rapport aux ions iodure ).
- On refait encore l'expérience avec une concentration initiale en ions iodure de 200 mmol/L , mais à une température de 37,1°C. On trouve une constante de vitesse apparente de 0,180 min<sup>-1</sup> . Calculer l'énergie d'activation de la réaction. On donne  $R = 8,3 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

## Problème 2 : Cristallographie du silicium

Données :

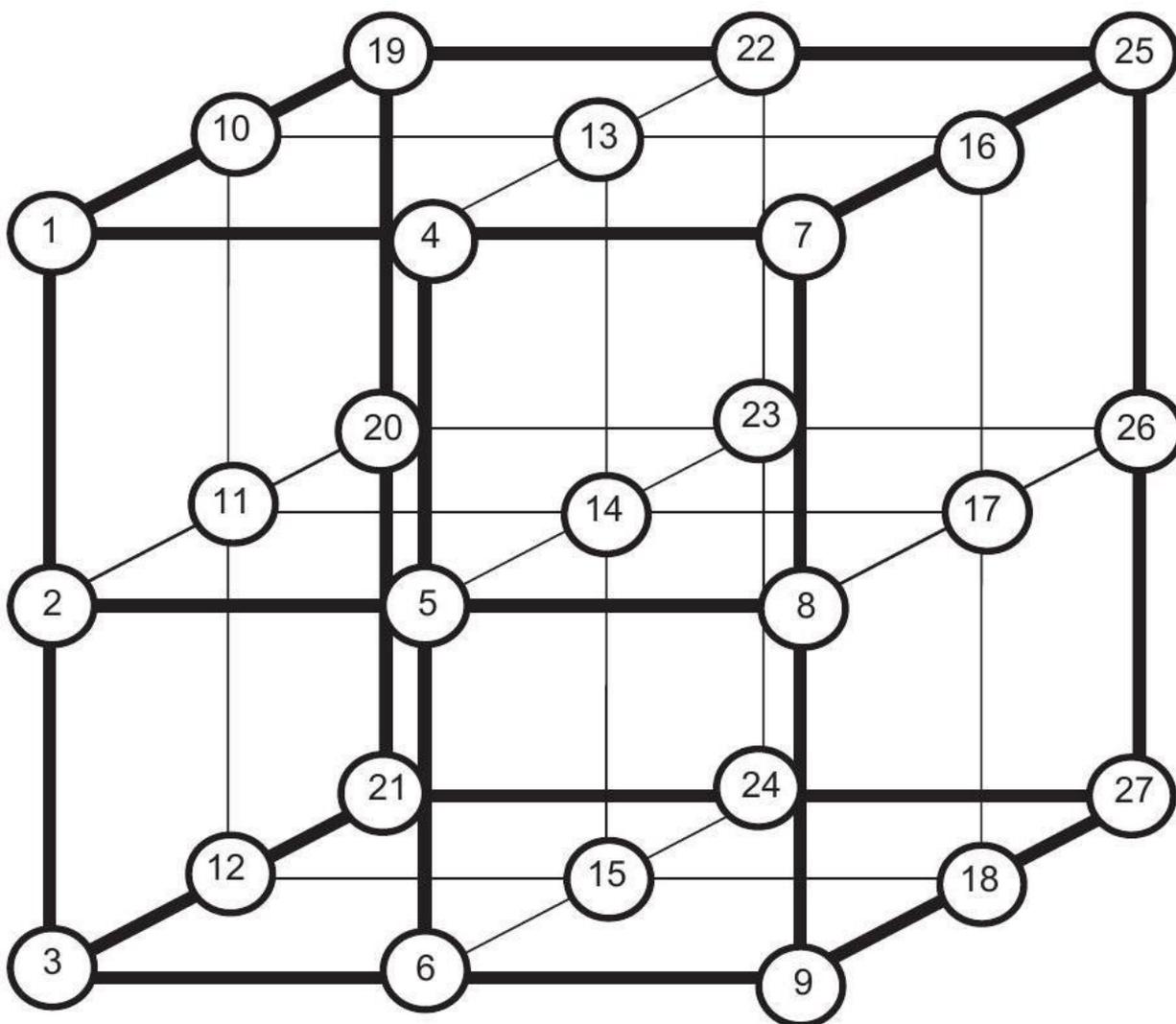
Nombre d'Avogadro :  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Masse volumique du silicium :  $\rho = 2,33 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

Masse molaire du silicium :  $M = 28,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Le silicium forme une structure de type diamant, c'est à dire une structure cubique faces centrées d'atomes de silicium, avec occupation d'un site tétraédrique (noté T) sur deux par un atome de silicium.

1. Sur la figure ci-dessous quels sont les numéros correspondants aux sites octaédriques ? Où sont situés les sites tétraédriques ?
2. En déduire, dans une structure cubique faces centrées (cfc), le nombre de sites T et de sites O appartenant en propre à la maille.
3. Compléter (sur le document réponse) la figure ci-dessous en indiquant les atomes de silicium correspondant à la structure diamant.
4. En déduire la population de la maille de type diamant du silicium en détaillant le calcul. Préciser la coordinence de l'atome de silicium dans la structure.
5. Écrire la relation entre le paramètre de la maille  $a$  et le rayon  $r(\text{Si})$  de l'atome de silicium dans la structure de type diamant.
6. A partir de la masse volumique fournie, calculer la valeur du rayon  $r(\text{Si})$ .
7. Calculer la compacité de la structure. Commenter.



### Problème 3 : Accordeur de guitare

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 aiguë.
- Les fréquences fondamentales théoriques de vibration de ces cordes, notées  $f_{ac}$  sont données dans le **Tableau 1**.

Corde	Mi grave	La	Ré	Sol	Si	Mi aiguë
Fréquences ( $f_{ac}$ ) Hz	82,4	110,0	145,8	196	246,9	329,6

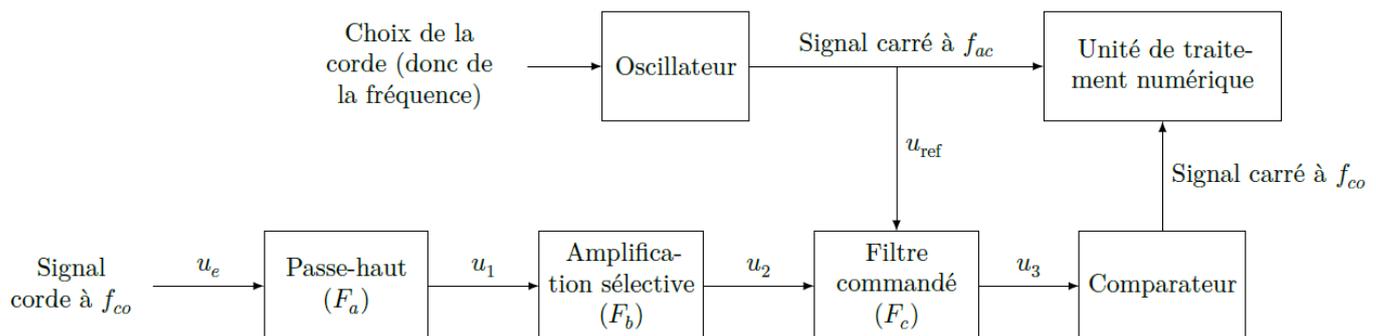
**Tableau 1** : Fréquences fondamentales de vibration des cordes de guitare

- On souhaite accorder une corde légèrement désaccordée : on notera  $f_{co}$  la fréquence fondamentale de vibration de la corde en question.

#### Principe de l'accordeur

- Sélection de la corde à accorder (donc  $f_{ac}$  est fixée).
- Création d'un signal carré de référence de fréquence  $f_{ac}$  avec un oscillateur de type astable.
- Enregistrement du signal  $u_e(t)$  provenant de l'excitation de la corde à accorder : signal quelconque, d'amplitude assez faible, de fréquence  $f_{co}$ .
- Amplification et filtrage de ce signal.
- Extraction de la fondamentale du signal : obtention d'un signal sinusoïdal de fréquence  $f_{co}$  par l'utilisation d'un filtre à fréquence caractéristique réglable par le signal extérieur de référence.
- Mise en forme de ce signal : obtention d'un signal carré de fréquence  $f_{co}$ .
- On a donc à disposition deux signaux carrés (signaux logiques) de fréquences respectives  $f_{ac}$  et  $f_{co}$ . Dans les accordeurs récents le traitement est numérique : les signaux sont envoyés dans un calculateur numérique intégré qui calcule l'écart de fréquence et indique à l'utilisateur quand la corde est accordée, c'est-à-dire quand  $f_{co} = f_{ac}$ .

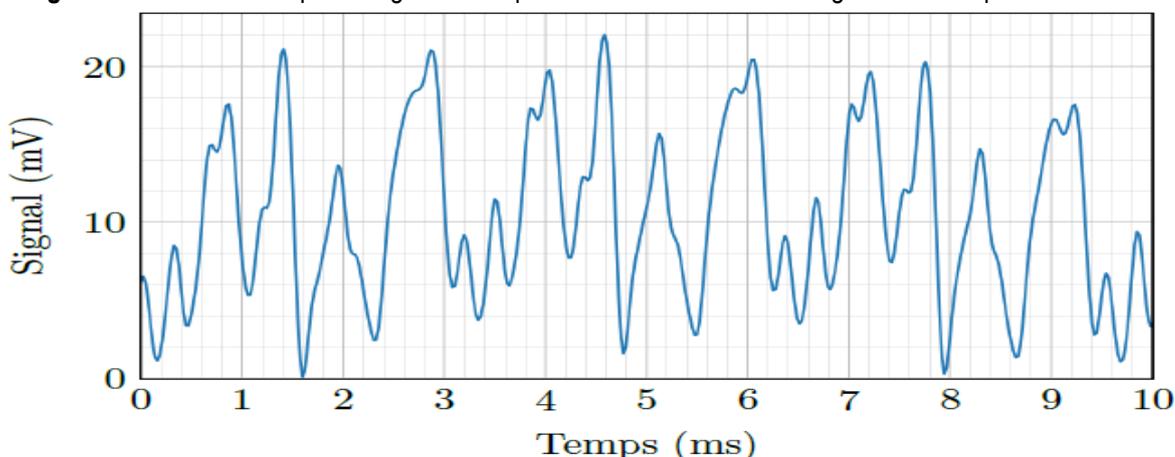
Ce principe général est schématisé sur la **Figure 1**.



Ce problème s'intéresse au traitement du signal venant de la corde.

#### A. Le signal

La **Figure 2** montre un exemple de signal électrique à la sortie du micro d'une guitare électrique.



1. Donner une valeur approchée de la valeur moyenne de ce signal.
2. Donner une estimation de la valeur de la fréquence de ce signal (on peut supposer qu'en première approximation le signal est périodique).
3. De quelle corde de guitare s'agit-il ?
4. L'analyse spectrale de ce signal fera-t-elle apparaître des harmoniques ? Justifier.

## B. Premier filtre

Avant toute chose, le signal électrique provenant du micro de la guitare est envoyé sur le filtre de la **Figure 3** (filtre ( $F_a$ )).

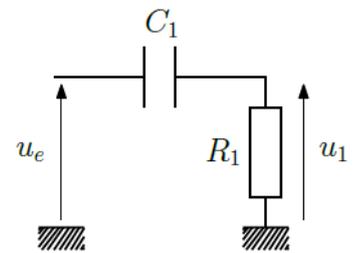


Figure 3 Filtre ( $F_a$ )

5. En supposant l'entrée sinusoïdale, définir et exprimer la fonction de transfert  $\underline{H}_1(j\omega)$  de ce filtre en fonction de  $R_1$ ,  $C_1$  et de la pulsation  $\omega$  du signal.
6. De quel type de filtre s'agit-il ? Faire apparaître une pulsation caractéristique  $\omega_1$  en fonction de  $R_1$  et  $C_1$  et préciser sa signification.
7. On a choisi de  $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$  et  $C_1 = 100 \text{ nF}$ .  
Calculer la fréquence de coupure  $f_1$  à  $-3 \text{ dB}$  de ce filtre.  
Au vu de l'allure du signal de la **Figure 2**, quel est le rôle de ce premier filtre ?

## C. Deuxième filtre

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

### Préambule

Soit le filtre de la **Figure 4(a)**.

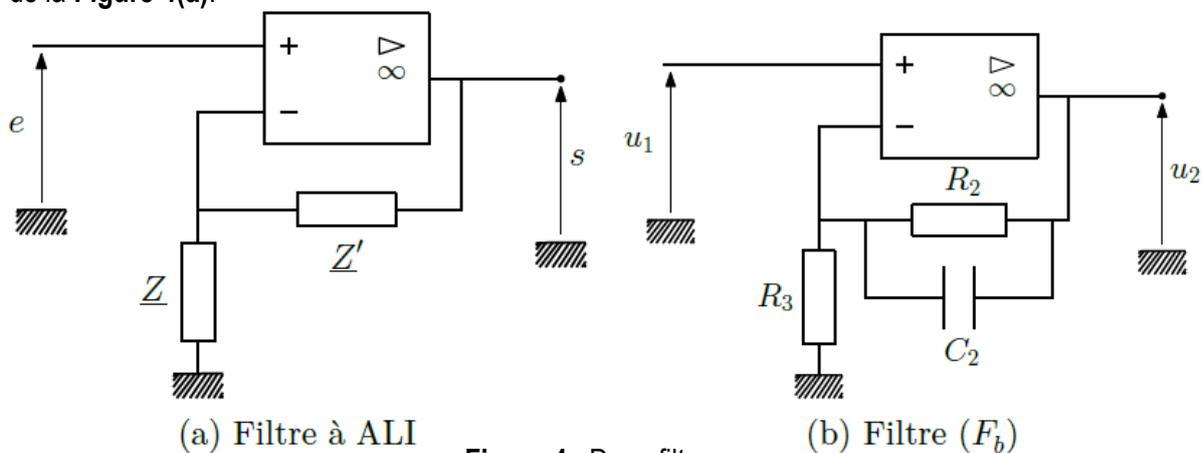


Figure 4 : Deux filtres

8. Exprimer sa fonction de transfert  $\underline{H}$  en fonction de  $\underline{Z}$  et  $\underline{Z}'$ .
9. Que devient  $\underline{H}$  si  $\underline{Z}$  et  $\underline{Z}'$  sont des résistances ( $\underline{Z} = R$ ,  $\underline{Z}' = R'$ ) ? Quel est, dans ce cas, l'intérêt du montage ?

### Amplification (légèrement) sélective

En sortie du filtre de la **Figure 3** le signal  $u_1(t)$  est envoyé sur le filtre de la **figure 4(b)** (filtre ( $F_b$ )).

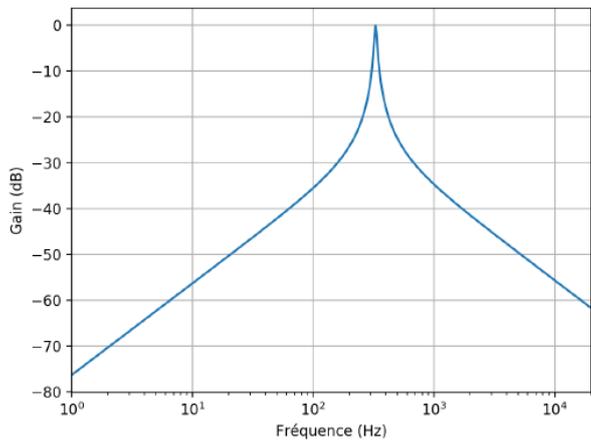
10. Quelle est l'impédance  $\underline{Z}_{\text{eq}}$  de la branche constituée par  $R_2$  en parallèle avec  $C_2$  ?
11. Dédire de la question 10 l'expression de la fonction de transfert  $\underline{H}_2$  de ce filtre en fonction de  $R_2$ ,  $R_3$  et  $C_2$ .
12. Mettre  $\underline{H}_2$  sous la forme  $\underline{H}_2 = 1 + \frac{G_0}{1 + j \frac{\omega}{\omega_2}}$  et donner les expressions de  $G_0$  et  $\omega_2$ .
13. Quelle est la limite de  $|\underline{H}_2|$  en basse fréquence ? en haute fréquence ?
14. Calculer numériquement la fréquence caractéristique  $f_2$  correspondant à  $\omega_2$  si  $R_2 = 680 \text{ k}\Omega$ ,  $R_3 = 6 \text{ k}\Omega$  et  $C_2 = 470 \text{ pF}$  ainsi que son gain  $G_0$ . Expliquer quel est le rôle de ce second filtre.

## D. Filtrage (très) sélectif commandé

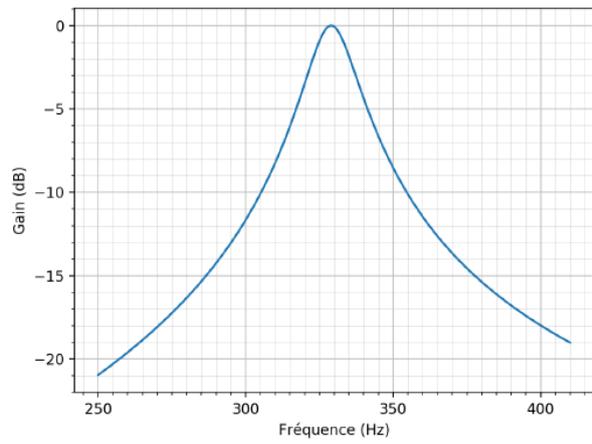
On souhaite maintenant sélectionner la fréquence fondamentale  $f_{\text{co}}$  du signal  $u_2$ , dont la valeur est a priori voisine de celle de la fréquence fondamentale théorique de vibration de la corde sélectionnée sur l'accordeur ( $f_{\text{ac}}$ ) (on suppose que la corde est légèrement désaccordée).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

**Diagramme de Bode** : La **Figure 5** représente le diagramme de Bode relatif au gain du filtre ( $F_c$ ) tracé à deux échelles différentes.



(a)



(b)

15. Dire en le justifiant rapidement, de quel type de filtre il s'agit. Quelle est sa fréquence centrale caractéristique ?

16. Donner une estimation de sa bande-passante à - 3 dB après l'avoir définie.

17. Si la corde est désaccordée à  $f_{co} = 315$  Hz, estimer, en le justifiant, de quel facteur est atténuée sa composante spectrale fondamentale en sortie de ce filtre.

**Analyse spectrale** : La **Figure 6** correspond au spectre du signal d'entrée  $u_e$  représenté sur la **Figure 2**.

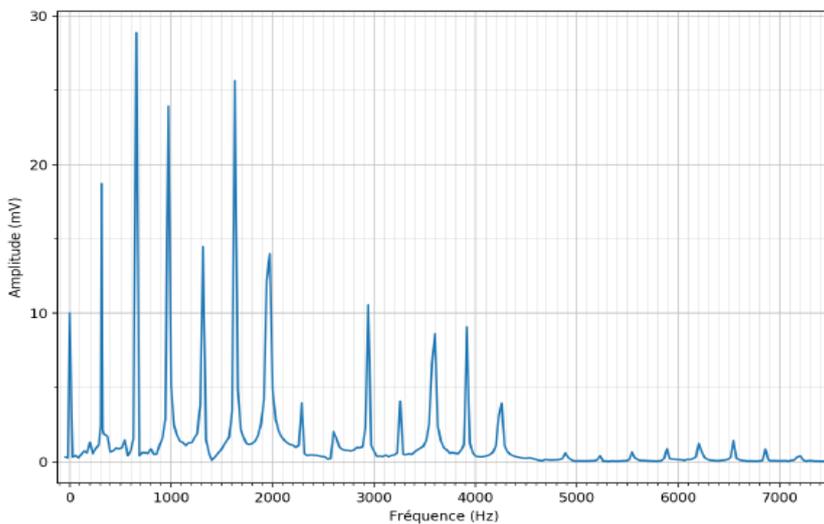
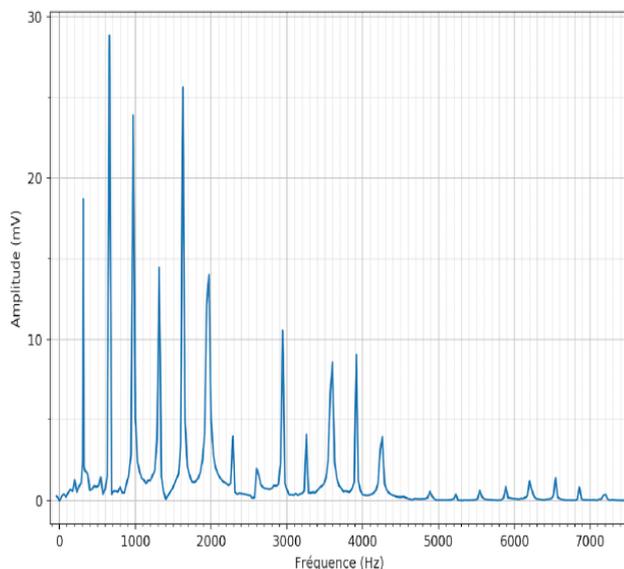


Figure 6 : Spectre du signal d'entrée

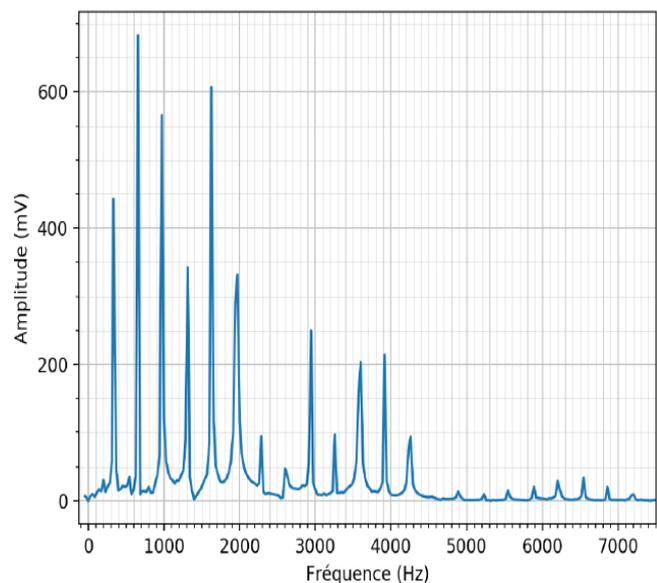
18. Justifier qu'il est parfaitement cohérent qu'il s'agisse du spectre du signal de la **Figure 2**.

19. En le justifiant soigneusement, dire quel spectre parmi les 4 ci-dessous correspond à la sortie du premier filtre ( $F_a$ ).

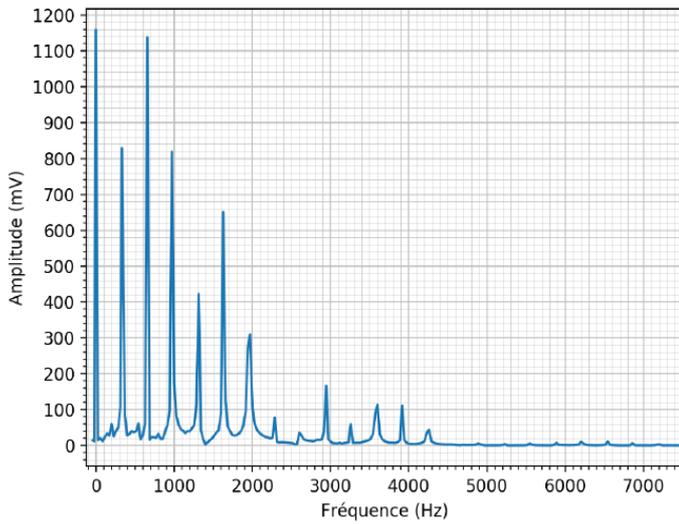
20. Même question, pour la sortie du filtre ( $F_b$ ).



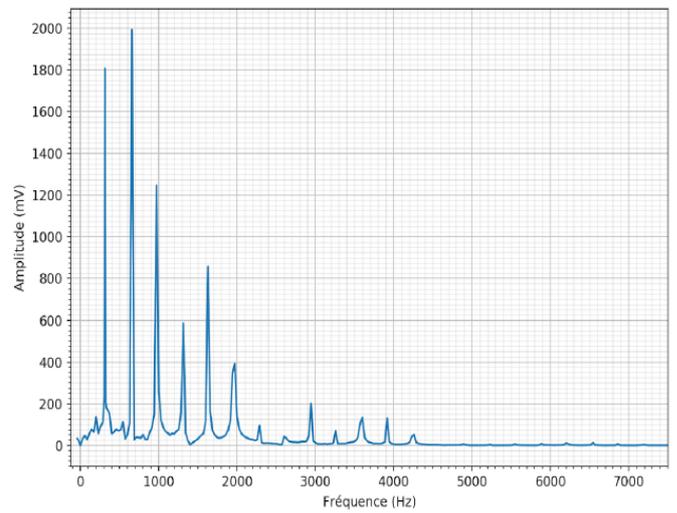
(a)



(b)

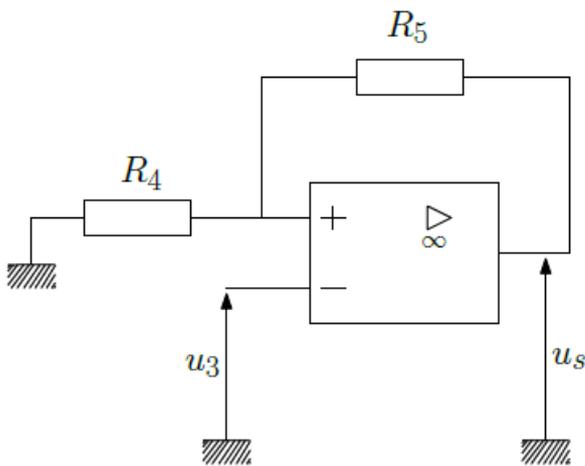


(c)



(d)

### Mise en forme



À la sortie de l'étage précédent, le signal est donc proche d'un signal sinusoïdal de fréquence  $f_{co}$  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  $f_{co}$  à la fréquence théorique  $f_{ac}$  on souhaite fabriquer à partir du signal précédent un signal créneau de fréquence  $f_{co}$ . Pour cela, on utilise un comparateur à hystérésis, représenté **ci-contre**.

On note  $U_{sat}$  la tension de saturation de l'ALI et on suppose que l'ALI est idéal. Le signal  $u_3$  est sinusoïdal alternatif d'amplitude 1 V et de fréquence  $f_{co}$  (c'est le signal sortant du filtre sélectif ( $F_c$ )).

On rappelle le fonctionnement de l'ALI en régime non-linéaire :

$$\varepsilon = V^+ - V^-$$

$$\text{si } \varepsilon > 0 \text{ alors } u_s = U_{sat}$$

$$\text{si } \varepsilon < 0 \text{ alors } u_s = -U_{sat}$$

$$\text{si } \varepsilon = 0, \text{ l'ALI commute}$$

21. Qu'est ce qui permet d'être certain que l'ALI fonctionne en régime saturé ?

22. Exprimer  $V^+$  le potentiel de la borne non inverseuse de l'ALI en fonction de  $R_4$ ,  $R_5$  et  $u_s$ .  
En déduire l'expression de  $\varepsilon = V^+ - V^-$ .

23. Comment varie  $\varepsilon$  quand  $u_3$  varie ( $u_s$  étant fixé) ?

Supposons que  $u_3$  soit suffisamment faible pour que  $\varepsilon > 0$ .

24. Quelle est la valeur de  $u_s$  ? À partir de cette situation,  $u_3$  augmente : exprimer en fonction des données la valeur  $U_{seuil}$  de  $u_3$  pour laquelle on observera le basculement de  $u_s$ . Quelle est alors la nouvelle expression de  $\varepsilon$  ?

25. À partir de cette nouvelle situation, traiter le cas où  $u_3$  diminue.

26. Représenter finalement le cycle d'hystérésis de ce montage :  $u_s = f(u_3)$ .

Dans le cadre de l'accordeur de guitare,  $R_4 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_5 = 10 \text{ k}\Omega$  et  $U_{sat} = 5 \text{ V}$ .

27. Tracer sur le document réponse l'allure du signal de sortie  $u_s(t)$  correspondant au signal  $u_3(t)$  proposé.