

DE L'ÉLEC ET DE LA CHIMIE

JEUDI 11 DÉCEMBRE 2025 - DURÉE 3H00

- ★ La calculatrice est autorisée.
- ★ Le téléphone portable est interdit.
- ★ Il sera tenu le plus grand compte du soin, de la présentation, et de la rédaction.
- ★ Chaque réponse doit être justifiée.
- ★ Par ailleurs, même lorsque ce n'est pas explicitement demandé, toute application numérique doit être précédée d'une expression littérale en fonction des données de l'énoncé.

I. Pickup de guitare électrique

On étudie le comportement fréquentiel d'un « pickup » de guitare électrique, c'est-à-dire du composant qui génère le signal électrique reproduisant les vibrations mécaniques de la corde.

I.1 Étude générale

On considère un filtre amplificateur de tension dont le diagramme de Bode du gain en dB est représenté sur la figure 1.

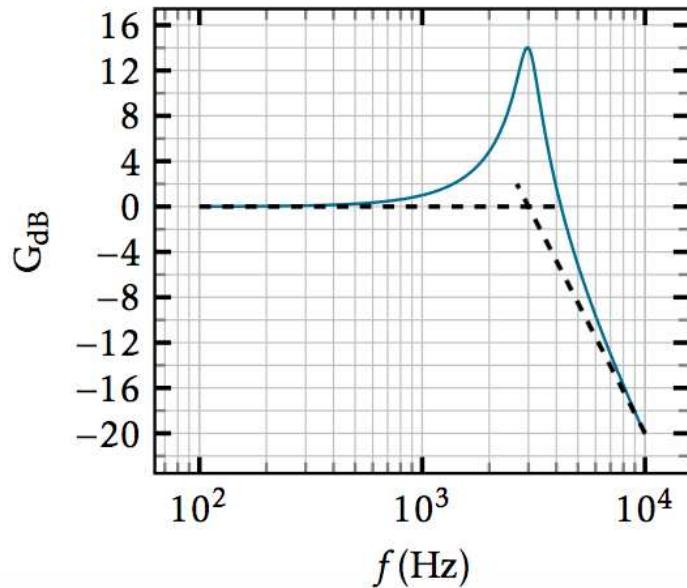


FIGURE 1 – Diagramme de Bode d'un filtre

1. a) Déterminer sa nature et son ordre.
1. b) Donner les équations de ses asymptotes (G_{dB} en fonction de $\log(f)$) à haute et basse fréquence.
2. a) Déterminer, parmi les fonctions de transfert suivantes, laquelle peut correspondre au diagramme précédent. On justifiera soigneusement les réponses en donnant la nature de chacun des filtres correspondant. Dans ces expressions Q et H_0 sont des réels positifs sans dimension, ω_0 est une pulsation positive.

$$1) \underline{H} = \frac{H_0}{1 + j \frac{\omega}{\omega_0}}$$

$$2) \underline{H} = \frac{H_0}{1 + j \frac{\omega}{Q\omega_0} - \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2}$$

$$3) \underline{H} = 1 + \frac{\omega}{\omega_0} - \left(\frac{\omega}{Q\omega_0} \right)^2$$

$$4) \underline{H} = \frac{H_0 \frac{\omega}{\omega_0}}{\frac{\omega}{\omega_0} - j Q \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 - 1}$$

- b) On travaille dans toute la suite avec la fonction de transfert choisie. Déterminer les équations de ses asymptotes à haute et basse fréquence (G_{dB} en fonction de $\log(\omega)$) ainsi que la valeur de H pour $\omega = \omega_0$.
- c) En déduire les valeurs de H_0 , Q puis f_0 pour le diagramme de la figure 1.
- d) Déterminer la phase φ et le gain G_{dB} pour $f = f_0$ pour le filtre choisi à la question I.1.2.a).

I.2 Filtrage d'un signal

3. On envoie en entrée du filtre de la figure 1 un signal sinusoïdal noté $u_e(t)$, d'amplitude $U_e = 1$ V et de fréquence variable. Déterminer l'amplitude, notée U_{si} ($i = 1, 2$, ou 3), de la tension en sortie, notée $u_s(t)$, pour :
- $f_1 = 300$ Hz
 - $f_2 = 3$ kHz
 - $f_3 = 8$ kHz
4. On considère un signal électrique périodique dont le spectre est donné sur la figure 2, caractéristique de la vibration d'une corde de guitare.

- a) Déterminer la fréquence fondamentale du signal ainsi que les intensités, en V, du fondamental et des 3 harmoniques suivantes.
- b) Ce signal est filtré par le filtre de la figure 1. Déterminer les amplitudes (en dB) des raies du spectre obtenu. On s'intéressera uniquement au fondamental, à l'harmonique la plus proche de 3 kHz et à celle la plus proche de 8 kHz.

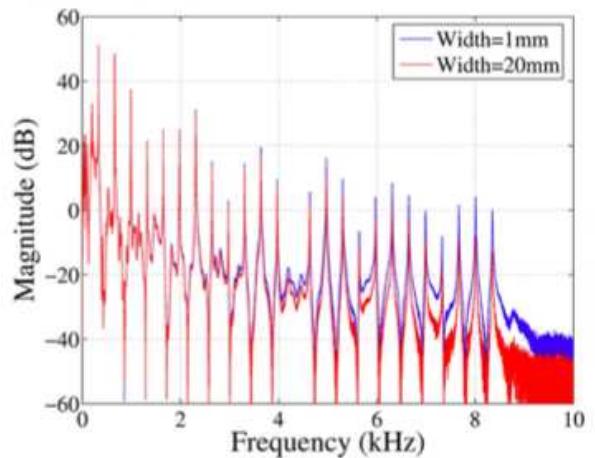


FIGURE 2 - Spectre d'une corde de guitare

NB : L'abscisse représente la fréquence de ses composantes sinusoïdales et l'ordonnée représente $20 \log(U/U_{ref})$ avec U l'amplitude et $U_{ref} = 10$ mV. On ne prêtera pas attention aux différences entre les deux courbes correspondant à deux manières différentes de gratter la corde.

5. On envoie un signal sinusoïdal $u_e(t)$ sur un filtre du type choisi à la question I.1.2.a), de valeurs de Q et f_0 inconnues, et de caractéristique $H_0 = 1$. On obtient le signal u_s en sortie.
- a) Déterminer le gain et la phase de la fonction de transfert correspondant aux signaux u_e et u_s représentés ci-contre. En déduire les valeurs de Q et f_0 pour le filtre choisi à la question I.1.2.a).
- b) On envoie sur le même filtre un signal de fréquence 0,25 kHz puis un signal de fréquence 25 kHz. Décrire dans les deux cas l'allure de $u_s(t)$ en comparaison à $u_e(t)$.

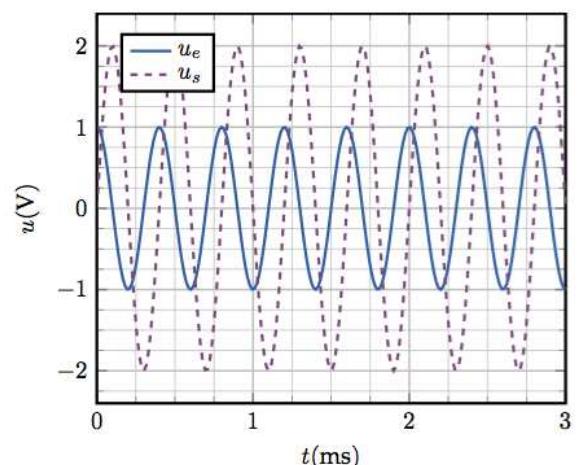


FIGURE 3 - $u_e(t)$ et $u_s(t)$

I.3 Modèle electrocinétique du pickup

On peut modéliser le « pickup » branché sur un amplificateur de guitare par le circuit de la figure 4 dans lequel la source de tension sinusoïdale e génère un signal d'amplitude constante E quelle que soit la fréquence.

La bobine L , le résistor R et le condensateur C caractérisent le « pickup » ; le condensateur C_c caractérise la capacité du câble reliant la guitare à l'amplificateur et le résistor R_a caractérise la résistance d'entrée de l'amplificateur.

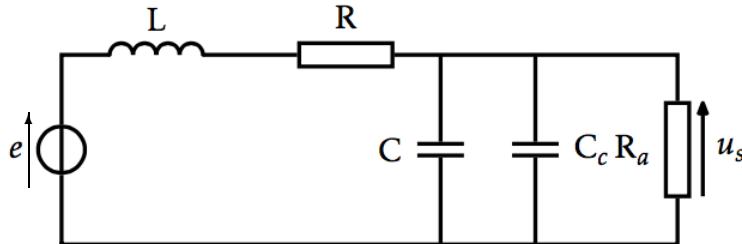


FIGURE 4 - Modélisation d'un « pickup » branché par un câble à un amplificateur de guitare. La source de tension est sinusoïdale. Son association avec L , R et C représente le « pickup ». C_c représente la capacité du câble et R_a la résistance d'entrée de l'amplificateur.

6. Vérifier (il n'est pas nécessaire de calculer la fonction de transfert) que ce circuit a la même nature que le filtre dont le gain est donné à la figure 1.
7. Les figures 5 et 6 représentent les diagrammes de Bode du circuit précédent, quand on fait varier R_a (avec $C_c = 470 \text{ pF}$) pour l'une et quand on fait varier C_c (avec $R_a = 10 \text{ M}\Omega$) pour l'autre. Proposer des valeurs pour R_a et C_c donnant une résonance à $2,5 \text{ kHz}$ (le son est alors dit « brillant ») avec une surtension d'un facteur 5 à la résonance.

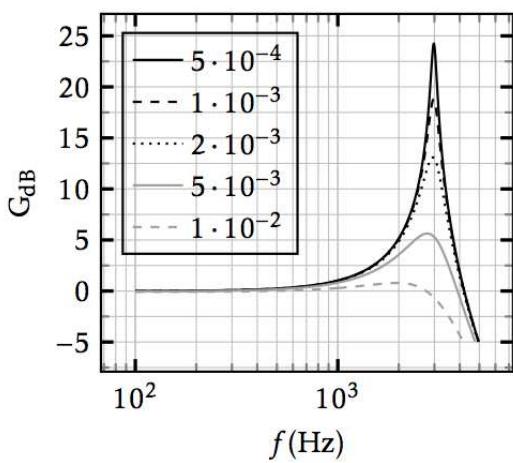


FIGURE 5 - $C_c = 470 \text{ pF}$, la légende donne la valeur du rapport R/R_a

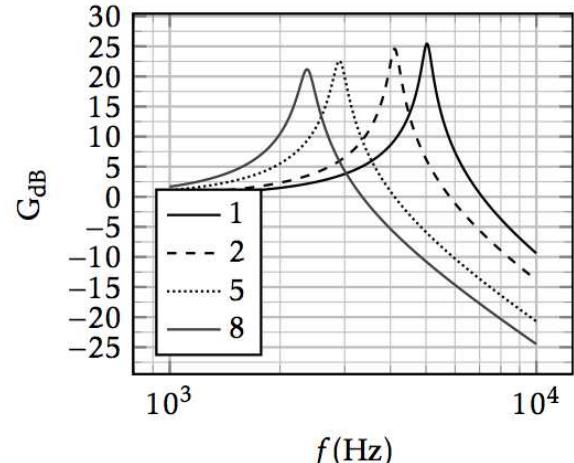


FIGURE 6 - $R_a = 10 \text{ M}\Omega$, la légende donne la valeur du rapport C_c/C

8. a) Établir l'expression de la fonction de transfert du circuit de la figure 4 et la mettre sous la forme choisie à la question I.1.2.a).
- b) Simplifier les expressions du facteur de qualité Q et de la pulsation propre ω_0 correspondant aux diagrammes de la figure 6 et justifier le sens de variation de ω_0 avec C_c .

DONNÉES :

- ★ Capacité du pickup $C = 100 \text{ pF}$
- ★ Autoinductance du pickup $L = 5,0 \text{ H}$
- ★ Résistance du pickup $R = 6,0 \text{ k}\Omega$

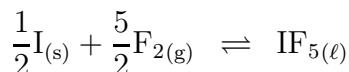
II. Le diiode en solution aqueuse

II.1 Questions sur le diiode et ses solutions

La famille des halogènes est constituée, dans l'ordre croissant de numéro atomique, des quatre éléments suivants : le fluor (F), le chlore (Cl), le brome (Br) et l'iode (I). Un cinquième halogène, l'astate (At), est hautement radioactif et n'existe qu'à l'état de traces sur Terre.

1. Rappeler le numéro de la colonne des halogènes dans la classification périodique.
2. L'iode étant le quatrième halogène, déterminer quelle est sa configuration électronique. En déduire son numéro atomique.
3. Les halogènes sont-ils des métaux ou des non-métaux ? Justifier en représentant un tableau périodique simplifié et en y localisant approximativement les métaux et les non-métaux.
4. Expliquer pourquoi les halogènes forment des molécules diatomiques.

Les halogènes peuvent s'associer entre eux pour donner des composés moléculaires interhalogénés comme, par exemple, le pentafluorure d'iode, composé de formule IF_5 . C'est un liquide jaune pâle dense préparé pour la première fois par Henri Moissan en 1891 en faisant brûler de l'iode solide dans du difluor gazeux. L'équation de la réaction est la suivante :

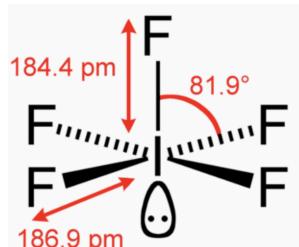


La constante d'équilibre de cette réaction vaut : $K^0 \approx 10^{130}$ à 298 K.

Dans une enceinte inattaquable, de volume constant $V = 10,0 \text{ L}$, on introduit $n_0 = 0,100 \text{ mol}$ de difluor gazeux, et on ajoute une masse $m_0 = 3,00 \text{ g}$ de diiode en cristaux. La réaction découverte par Henri Moissan se produit alors, très vive, puis on laisse le système revenir progressivement à la température ambiante de 298 K.

On admettra que le volume des corps condensés (corps solides et liquides) est négligeable devant le volume V de l'enceinte.

5. Décrire le système dans l'enceinte dans l'état final : masses de liquide IF_5 formé, masse de diiode restant, pression en difluor.
6. Déterminer la structure de Lewis du composé IF_5 formé.
7. La géométrie réelle de la molécule est décrite sur le schéma ci-dessous.



La molécule IF_5 est-elle polaire ? Si oui, dessiner l'orientation de son vecteur moment dipolaire.

II.2 Étude cinétique d'une réaction d'oxydoréduction produisant du diiode

En solution aqueuse, les ions peroxydisulfate $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ oxydent les ions iodure I^- selon la réaction symbolisée par l'équation (R), où toutes les espèces sont des solutés :



La constante d'équilibre associée à (R) vaut : $K^0 = 1,3 \cdot 10^{47}$.

La réaction (R) est une réaction lente. Afin d'en déterminer les propriétés cinétiques, on réalise à $T = 303$ K l'expérience suivante :

- ★ On place dans un bêcher $V_1 = 20,0$ mL de solution d'iodure de potassium (solution contenant l'ion iodure I^- à la concentration $C_1 = 5,00 \cdot 10^{-2}$ mol.L $^{-1}$). On met en place une agitation magnétique.
- ★ Dans une burette au-dessus du bêcher, on met une solution contenant, entre autres, des ions thiosulfate $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ à la concentration $C_t = 5,00 \cdot 10^{-2}$ mol.L $^{-1}$ et des ions iodure à la concentration $C_i = 3,33 \cdot 10^{-2}$ mol.L $^{-1}$.
- ★ On verse $V_b = 1,00$ mL du contenu de la burette dans le bêcher, et on ajoute quelques gouttes d'empois d'amidon (dont on négligera le volume au regard des autres volumes considérés). On rappelle que l'empois d'amidon joue le rôle d'indicateur de présence du diiode, en devenant bleu en sa présence.
- ★ On verse alors rapidement dans le bêcher, tout en déclenchant un chronomètre, $V_2 = 10,0$ mL de solution de peroxydisulfate de potassium (solution contenant les ions $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ à la concentration $C_2 = 5,00 \cdot 10^{-2}$ mol.L $^{-1}$).

Une coloration bleue apparaît brusquement à la date t_1 . Sans interrompre le chronomètre, on ajoute rapidement 1,0 mL de la solution contenue dans la burette, ce qui provoque la décoloration quasi-instantanée de la solution. À la date t_2 , la coloration bleue réapparaît. On rajoute alors 1,0 mL de la burette et ainsi de suite...

On consigne les différents instants t_i où la coloration bleue est apparue dans le tableau suivant :

i (mL versés de la burette)	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00
t_i (s)	314	645	1016	1384	1785

8. Déterminer littéralement et numériquement les concentrations initiales, c'est-à-dire juste après avoir versé le volume V_2 , des différents réactifs dans le bêcher : $[\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]_0$, $[\text{I}^-]_0$ et $[\text{S}_2\text{O}_3^{2-}]_0$.

9. Dans l'hypothèse où on introduirait dans un autre bêcher uniquement du peroxydisulfate de potassium et de l'iodure de potassium aux mêmes concentrations $[\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]_0$ et $[\text{I}^-]_0$ que déterminées à la question précédente et qu'on laisse ce bêcher évoluer sans intervention selon la réaction (R), déterminer quel serait l'état final d'un tel système, au bout d'une durée « infinie ». On attend ici les valeurs précises des concentrations finales pour les quatre espèces engagées dans la réaction.

Conclure quant aux propriétés thermodynamiques de la réaction (R).

Dans l'expérience décrite, on rappelle que le rôle des ions thiosulfate est de détruire le diiode selon la réaction quasi-totale et quasi-instantanée (R') d'équation : $I_2 + 2S_2O_3^{2-} \rightleftharpoons 2I^- + S_4O_6^{2-}$.

10. Dans l'hypothèse où la réaction (R) admet un ordre (constante de vitesse k , ordre partiel α par rapport aux ions $S_2O_8^{2-}$, ordre partiel β par rapport aux ions I^-), écrire l'expression de la vitesse v de la réaction (R) en fonction de k , $[S_2O_8^{2-}]$, $[I^-]$, α et β . On notera que α et β sont des entiers.
11. Expliquer pourquoi la concentration en ions iodure reste constante dans le bêcher tout au long de l'expérience. En déduire une expression simplifiée de v en introduisant une constante k_{app} dont on précisera l'expression en fonction de k et $[I^-]_0$.
12. À quoi est due la coloration bleue qui apparaît régulièrement dans le bêcher ? Pourquoi disparaît-elle dès qu'on ajoute un nouveau millilitre de solution de la burette ?

Un relevé des concentrations en $S_2O_8^{2-}$ est proposé en fonction du temps dans le tableau ci-après :

i (mL versés de la burette)	0	1	2	3	4	5
t_i (s)	0	314	645	1016	1384	1785
$S_2O_8^{2-}$ (mol.L ⁻¹)	0,0161	0,0148	0,0136	0,0125	0,0114	0,0104

13. Déterminer la formule permettant de déterminer les valeurs de $[S_2O_8^{2-}]$ données dans le tableau ci-avant.
- Indication : la quantité de matière d'ions thiosulfate apportée à chaque versement de burette permet d'en déduire l'avancement de la réaction (R) au moment précis où la coloration bleue apparaît, et donc la quantité de matière d'ions peroxodisulfate restant à cet instant...*
14. En utilisant le tableau de valeurs précédent, montrer par une représentation graphique que ces résultats expérimentaux sont compatibles avec un ordre $\alpha = 1$ par rapport aux ions peroxodisulfate. Déterminer la valeur de la constante cinétique apparente k_{app} associée.
 15. Une seconde série de mesures est réalisée à la même température, en multipliant par 2 les concentrations en ions iodure, toutes les autres concentrations restant inchangées. On détermine alors une constante cinétique apparente de $k'_{app} = 4,98 \cdot 10^{-4}$ SI. En déduire l'ordre partiel β par rapport aux ions iodure ainsi que la constante cinétique réelle k de la réaction (R).

DONNÉES :

- Constante des gaz parfaits : $R = 8,314 \text{ J.mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;
- Masse molaires en g.mol^{-1} : F : 19,0 et I : 126,9

