



## DEVOIR SURVEILLÉ 9 – PHYSIQUE-CHIMIE

D.Malka – MPSI 2016-2017 – Lycée Saint-Exupéry

20.05.2017

Durée de l'épreuve : 3h00

L'usage de la calculatrice est autorisé.

L'énoncé de ce devoir comporte 6 pages.

- Si, au cours de l'épreuve, vous repérez ce qui vous semble être une erreur d'énoncé, signalez le sur votre copie et poursuivez votre composition en expliquant les raisons des initiatives que vous êtes amené à prendre.
- Il ne faudra pas hésiter à formuler des commentaires. Le barème tiendra compte de ces initiatives ainsi que des qualités de rédaction de la copie.
- La numérotation des exercices doit être respectée. Les résultats doivent être systématiquement encadrés.
- Les pages doivent être numérotées de la façon suivante :  $n^{\circ}$ page courante/nombre total de pages.

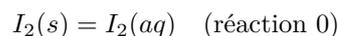
### Problème 1 – « Solubilité du diiode »

Dans ce problème, on cherche à comprendre pourquoi pour préparer une solution aqueuse de diiode  $I_2$ , on préfère dissoudre ce solide dans une solution d'iodure de potassium ( $K^+$ ,  $I^-$ ) plutôt que dans l'eau pure.

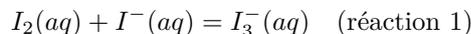
*Données :*

- Solubilité du diiode dans l'eau pure à  $25^\circ C$  :  $S = 0,340 \text{ g.L}^{-1}$ ,
- L'iodure de potassium (KI) est un sel totalement soluble en phase aqueuse.
- Masses molaires atomiques des éléments exprimées en  $\text{g.mol}^{-1}$  :  $O : 16,00$  ;  $K : 39,10$  ;  $I : 126,90$

1. On souhaite dissoudre, à  $25^\circ C$ ,  $5 \text{ g}$  de diiode dans  $0,5 \text{ L}$  d'eau. Est-ce possible ? Justifier.
2. En raisonnant sur une solution saturée, déterminer la constante d'équilibre  $K_s$  de la réaction suivante :

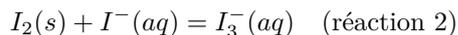


3. En phase aqueuse, le diiode  $I_2$  et l'iodure  $I^-$  donnent lieu à une réaction de complexation rapide (réaction 1) dont la constante d'équilibre, à  $25^\circ C$ , est  $K_1^0 = 750$  :



C'est d'ailleurs l'absorbance (à  $352 \text{ nm}$ ) de l'ion  $I_3^-$  qui est à l'origine de la couleur jaune des solutions aqueuses obtenues à partir de diiode et d'iodure.

- 3.1 Calculer la constante d'équilibre  $K_2^0$  de la réaction :



- 3.2 On prépare une solution  $A$  en introduisant, à  $25^\circ C$ ,  $20 \text{ g}$  d'iodure de potassium  $KI(s)$  puis  $5 \text{ g}$  de diiode  $I_2(s)$  dans une fiole jaugée de  $500 \text{ mL}$  et en complétant avec de l'eau déminéralisée.

3.2.1 Calculer les quantités de matière initiales en ions iodure  $I^-$  et en diiode  $I_2$ .

3.2.2 Montrer que le diiode  $I_2(s)$  a intégralement disparu à l'état final. Commenter.

## Problème 2 – Séparation d'ions métalliques par précipitation sélective

L'objectif est de déterminer si une séparation du cuivre et du zinc est possible en précipitant sélectivement un des deux sulfures. La solution étudiée est une solution de nitrate de cuivre et de nitrate de zinc, tous les deux à la concentration molaire  $C = 1,00 \cdot 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$  dans une solution acide. Cette solution est saturée en sulfure d'hydrogène de telle sorte que la concentration en sulfure d'hydrogène  $[H_2S]$  soit toujours égale à  $0,100 \text{ mol.L}^{-1}$ .

Données :

- L'activité d'une espèce chimique aqueuse sera assimilée au rapport entre sa concentration exprimée en  $\text{mol.L}^{-1}$  et la concentration de référence  $c^\circ = 1 \text{ mol.L}^{-1}$ .
- Anion sulfure :  $S^{2-}$
- $pK_a(H_2S/HS^-) = 7,0$ ;  $pK_a(HS^-/S^{2-}) = 12,9$
- $pK_s(ZnS_{(s)}) = 23,8$ ;  $pK_s(CuS_{(s)}) = 35,2$
- Le nitrate de cuivre et le nitrate de zinc sont totalement solubles dans l'eau.

1. Ecrire l'équation bilan traduisant la réaction de précipitation des ions  $Zn^{2+}$  et  $S^{2-}$  en sulfure de zinc  $ZnS(s)$ .
2. Quelle condition doit vérifier la concentration molaire  $[S^{2-}]$  pour ne pas observer la précipitation du sulfure de zinc ?
3. Calculer la constante de l'équilibre :



4. En déduire le domaine de  $pH$  en deçà duquel il n'y a pas précipitation du sulfure de zinc.
5. Sachant que le sulfure de cuivre précipite à tout  $pH$ , la séparation est-elle possible ? Proposer une valeur du  $pH$ .

## Problème 3 – Le haut-parleur électrodynamique

Un haut-parleur électrodynamique, schématisé en fig.1, est constitué d'un châssis sur lequel est fixé le circuit magnétique. Sur cet ensemble rigide est fixé l'élément actif du haut-parleur : l'équipage mobile formé de la membrane et de la bobine mobile. La liaison avec le châssis est assurée, près du centre par le spider, pièce de toile rigidifiée par du plastique et qui joue le rôle d'un ressort et sur le pourtour par une suspension périphérique. L'ensemble de la suspension assure le rappel vers la position d'équilibre et le guidage en translation parallèlement à l'axe  $z'z$ . Le circuit magnétique, constitué d'aimants permanents, génère un champ magnétique  $\vec{B}$  radial et uniforme ( $B = 1,05 \text{ T}$ ) dans l'entrefer. La longueur totale du bobinage de la bobine mobile vaut  $l = 3,81 \text{ m}$ . La masse de l'équipage mobile vaut  $m = 4,0 \text{ g}$ .

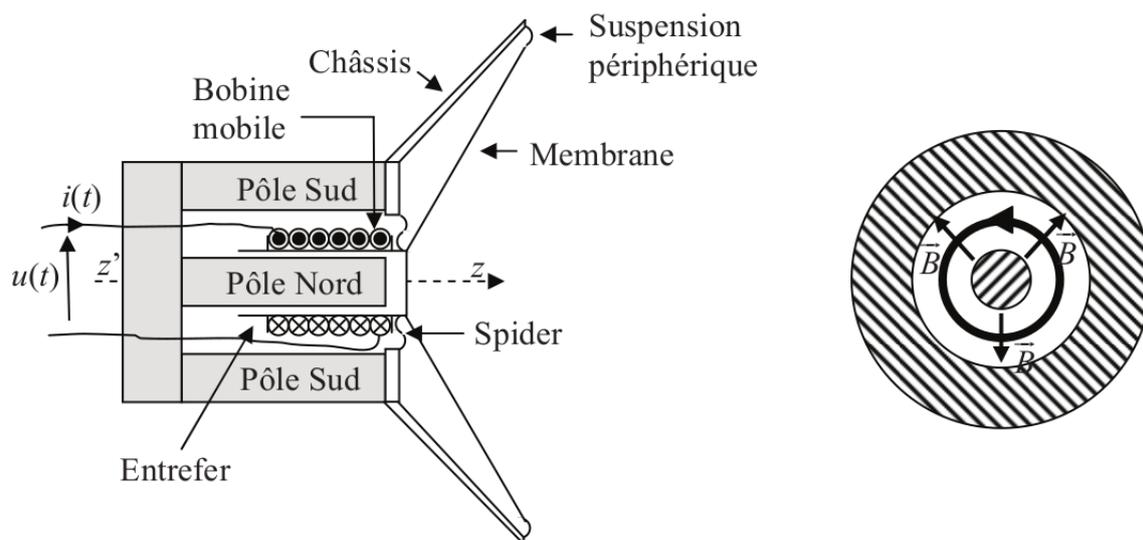


FIGURE 1 – Schéma de principe du haut-parleur électrodynamique

Les parties 1, 2 et 3 ne sont que très partiellement liées.

## 1. Etude temporelle du fonctionnement

1.1 Pourquoi qualifie-t-on le haut-parleur de convertisseur électromécanique ?

1.2 On applique aux bornes de la bobine une tension variable  $u(t)$ . La bobine est alors traversée par un courant d'intensité  $i(t)$  et la membrane se déplace avec la vitesse  $v(t)$ .

1.2.1 Justifier qualitativement l'apparition d'une f.é.m. induite  $e(t)$  aux bornes de la bobine.

1.2.2 On admet que la valeur de la f.é.m induite peut se calculer sur le rail de Laplace fig.2.

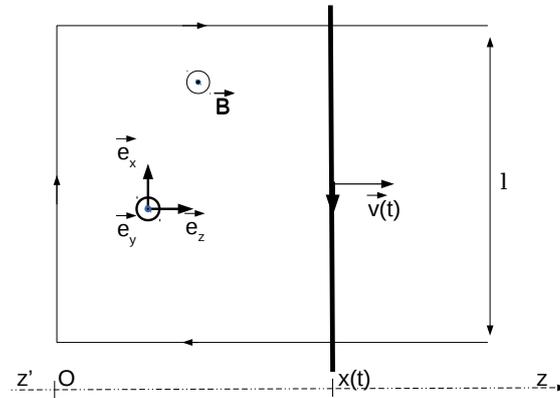


FIGURE 2 – Rail de Laplace

Montrer que  $e(t) = v(t)Bl$ .

*Dans toute la suite, on raisonne sur la géométrie réelle du haut-parleur.*

1.2.3 Le schéma électrique équivalent de la bobine est donné en figure 3. Donner la relation qui lie  $u(t)$ , à  $i(t)$ ,  $i'(t) = \frac{di}{dt}$  et  $e(t)$ . Que représente chacun des termes de cette équation dite électrique ?

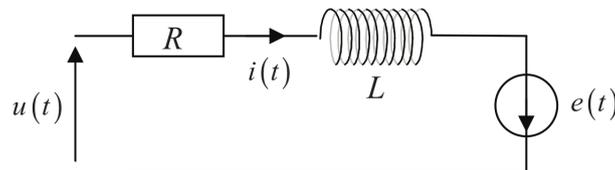


FIGURE 3 – Schéma électrique de la bobine

1.3 Donner l'expression de la force élémentaire de Laplace  $\vec{df}_L$  exercée sur une portion de conducteur de longueur  $dl$  en fonction de  $i(t)$ ,  $dl$ ,  $B$  et  $\vec{u}_z$  (fig.4).

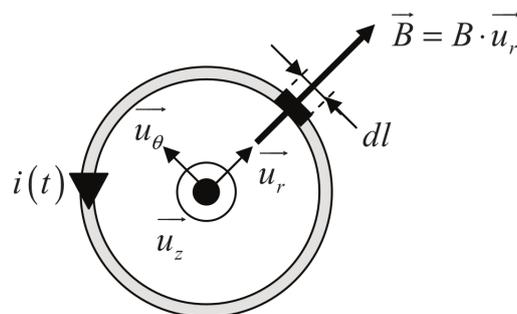


FIGURE 4 – Portion de conducteur soumis à la force de Laplace

- 1.4 En prenant l'origine des  $z$  comme étant la position d'équilibre du centre d'inertie de l'équipage mobile (bobine + membrane), le théorème du centre de masse appliqué à ce système donne la relation suivante :  $m \frac{d\vec{v}}{dt} = -i(t)lB\vec{u}_z - kz(t)\vec{u}_z - \lambda\vec{v}$ .

Interpréter les différents termes de cette relation.

En déduire une équation reliant  $i(t)$  à  $z(t)$  et ses dérivées  $z'(t) = \frac{dz}{dt}$  et  $z''(t) = \frac{d^2z}{dt^2}$ .

L'équation ainsi obtenue est appelée équation mécanique.

## 2. Régime sinusoïdal forcé

La tension appliquée est supposée sinusoïdale, de fréquence  $f$  :  $u(t) = U_m \cos(\omega t)$  et  $\omega = 2\pi f$ .

Nous utiliserons le formalisme complexe qui, à toute fonction sinusoïdale du type  $a(t) = A_m \cos(\omega t + \varphi)$  associe la fonction complexe  $\underline{a}(t) = A_m e^{j(\omega t + \varphi)}$ . On rappelle que  $j$  est le nombre complexe tel que  $j^2 = -1$ .

- 2.1 Ecrire les équations mécanique et électrique en utilisant le formalisme complexe.

- 2.2 En déduire l'expression de l'impédance du haut-parleur  $\underline{Z}(\omega) = \frac{\underline{u}(t)}{\underline{i}(t)}$ .

- 2.3 Cette impédance  $\underline{Z}(\omega)$  correspond à la mise en série de deux impédances : l'une  $\underline{Z}_e(\omega)$ , appelée impédance propre, qui ne contient que des termes relatifs au circuit électrique et l'autre  $\underline{Z}_m(\omega)$ , appelée impédance motionnelle, qui ne dépend que des caractéristiques mécaniques du système. Préciser les expressions de  $\underline{Z}_e(\omega)$  et  $\underline{Z}_m(\omega)$ .

- 2.4 Montrer que l'admittance motionnelle  $\underline{Y}_m(\omega) = \frac{1}{\underline{Z}_m(\omega)}$  peut s'écrire sous la forme :

$$\underline{Y}_m(\omega) = jC_m\omega + \frac{1}{jL_m\omega} + \frac{1}{R_m}$$

Préciser les expressions de  $C_m$ ,  $L_m$  et  $R_m$  en fonction de  $l$ ,  $B$ ,  $k$ ,  $m$  et  $\lambda$ . On donne  $k = 1250 \text{ N.m}^{-1}$  et  $\lambda = 1,0 \text{ kg.s}^{-1}$ , vérifier que  $C_m = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ F}$ ,  $L_m = 12,8 \text{ mH}$  et  $R_m = 16 \Omega$ .

- 2.5 Proposer un schéma électrique équivalent de l'impédance  $\underline{Z}(\omega)$  du haut-parleur dans lequel faire apparaître  $R$ ,  $L$ ,  $C_m$ ,  $L_m$  et  $R_m$ .

- 2.6 On peut également poser que l'impédance du haut-parleur se compose d'une partie réelle  $R_T$  et d'une partie imaginaire  $X_T$  :  $\underline{Z}(\omega) = R_T + jX_T$ . Montrer alors que l'expression de  $R_T$  est la suivante :

$$R_T = R + \frac{R_m}{1 + R_m^2 \left( C_m\omega - \frac{1}{L_m\omega} \right)^2}$$

- 2.7 En utilisant la courbe  $R_T = f(\omega)$  de la figure 5, déterminer la valeur numérique de la résistance  $R$  et la valeur de la fréquence de résonance  $f_0$ . Vérifier la cohérence de la valeur de  $f_0$  avec les données de l'énoncé.

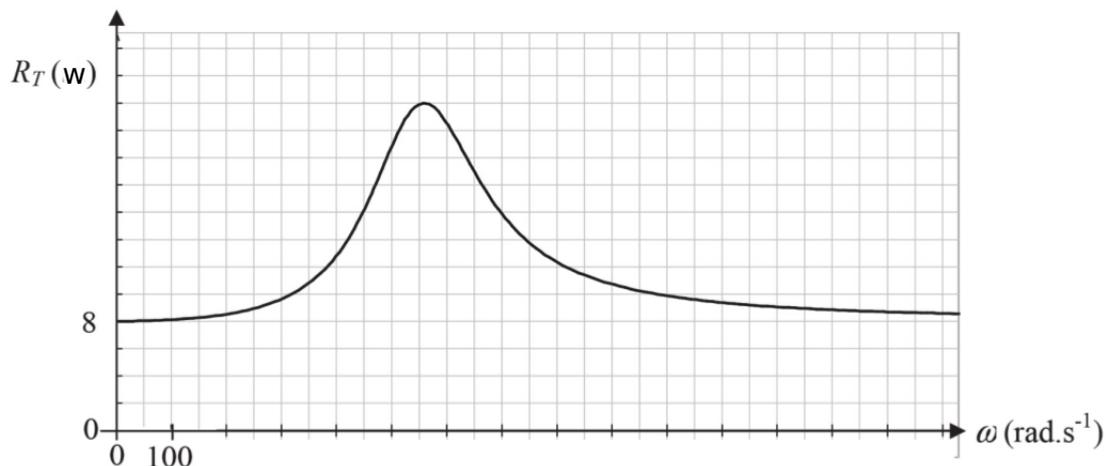


FIGURE 5 – Courbe représentant  $R_T$  en fonction de  $\omega$

### 3. Etude énergétique

Nous ferons l'hypothèse que la transformation de l'énergie mécanique des parties mobiles en énergie acoustique s'effectue sans perte.

3.1 Etablir le bilan de puissance électrique global sous la forme :

$$u(t)i(t) = \frac{dE_{magn}}{dt} + P_J(i(t)) + P_L(v(t))$$

Préciser les expressions de  $E_{magn}$ , de  $P_J(i(t))$  et de  $P_L(v(t))$ .

Interpréter chacun des termes du bilan.

3.2 Etablir le bilan de puissance mécanique global sous la forme :

$$\frac{dE_c(v(t))}{dt} + P_A(v(t)) + \frac{dE_{pe}(z(t))}{dt} = P_L(v(t))$$

Préciser les expressions de  $E_c(v(t))$ ,  $E_{pe}(z(t))$  et  $P_A(v(t))$ .

Interpréter chacun des termes du bilan.

3.3 Dédire des deux relations précédentes que :

$$u(t)i(t) = \frac{dE_{magn}}{dt} + P_J(i(t)) + \frac{dE_M(t)}{dt} + P_A(v(t))$$

3.4 Montrer que la puissance moyenne  $\langle P_S(t) \rangle$  fournie par l'alimentation électrique est reliée à la valeur moyenne du courant au carré consommé par le haut-parleur  $\langle i(t)^2 \rangle$  et à la valeur moyenne de la vitesse au carré de l'équipage mobile  $\langle v(t)^2 \rangle$  :

$$\langle P_S(t) \rangle = R \langle i(t)^2 \rangle + \lambda \langle v(t)^2 \rangle$$

Lequel de ces termes correspond à la puissance utile moyenne  $P_u(t)$ ? En déduire l'expression du rendement  $\eta$ .

3.5 La tension  $u(t)$  appliquée aux bornes du haut-parleur est une tension alternative sinusoïdale, de valeur efficace  $U_{eff}$ . La bobine est alors traversée par un courant  $i(t)$  alternatif sinusoïdal d'intensité efficace  $I_{eff}$ .

On rappelle que le haut-parleur peut se modéliser comme indiqué en figure 6. Montrer que le rendement  $\eta$  défini précédemment a pour expression  $\eta = \frac{R_T - R}{R_T}$ .

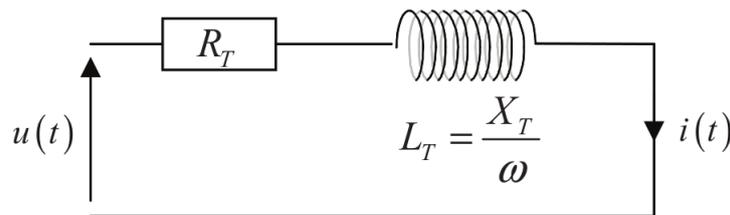


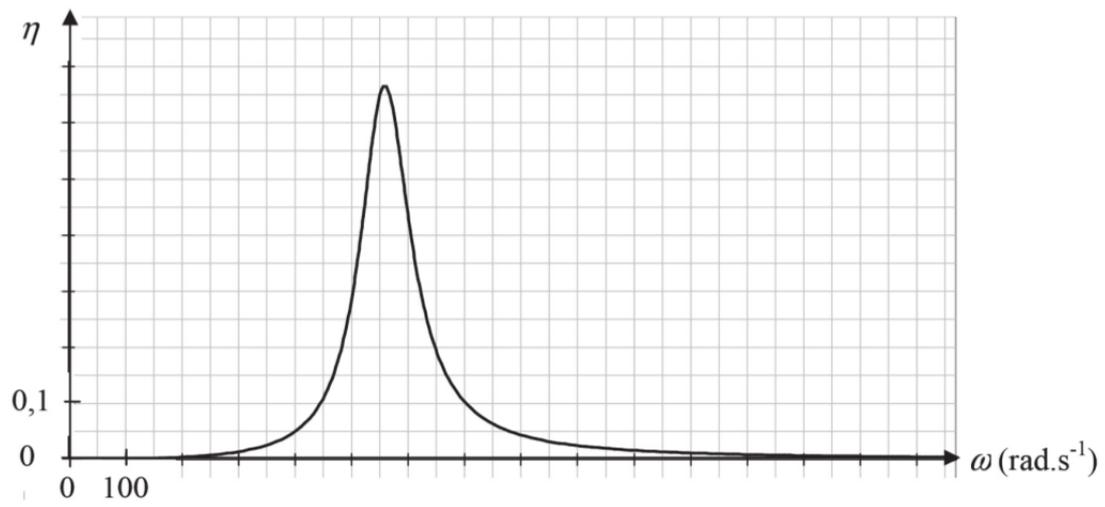
FIGURE 6 – Modélisation du haut-parleur

3.6 On donne, en figure 7, la représentation du rendement  $\eta$  en fonction de la pulsation  $\omega$ . Pour quelle fréquence le rendement est-il maximal? Est-ce en accord avec les valeurs numériques précédentes? Justifier votre réponse.

3.7 Dans quelle gamme de fréquences l'utilisation du haut-parleur est-elle intéressante? Rappeler l'intervalle de fréquences dans lequel l'oreille humaine entend les sons.

3.8 Expliquer pourquoi les enceintes acoustiques comportent plusieurs haut-parleurs.

\*\*\*\*\*  
 FIN DE L'ENONCE  
 \*\*\*\*\*

FIGURE 7 – Courbe représentant le rendement  $\eta$  en fonction de la pulsation  $\omega$