

**Pb n°1 : CCP PSI 17 PHYSIQUE – CHIMIE Étude d'un actionneur électromécanique**

Des données numériques et mathématiques sont disponibles en fin de problème.

**Q1.**  $\mu_0$  est en  $\text{H.m}^{-1}$  (ou  $\text{T.A}^{-1}$ ,  $\text{m}$  ou  $\text{N.A}^{-2}$  ou  $\text{kg.m.s}^{-2}.\text{A}^{-2}$ ).  $\mu_r$  est sans unité. Pour le fer, il est de l'ordre de 1000.

**Q2.** Le problème est invariant par toute translation suivant  $(Oz)$ . Donc les champs  $\vec{B}$  et  $\vec{H}$  ne dépendent pas de  $z$ . On a donc *a priori*,  $\vec{B}(x, y)$  et  $\vec{H}(x, y)$ .

Par ailleurs, ces fonctions sont  $2L$ -périodiques en  $x$ , comme l'est la distribution de courants.

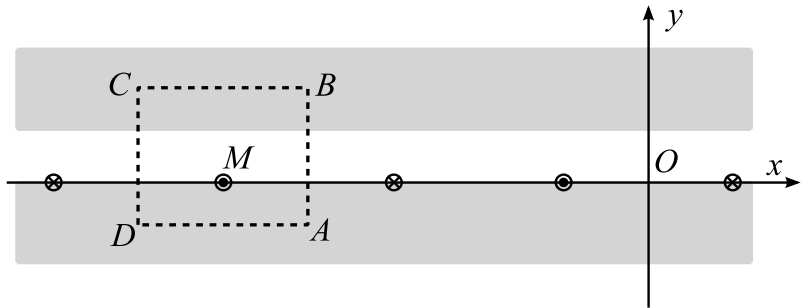
**Q3.**  $\text{rot } \vec{H} = \vec{j}_{\text{libre}}$  où  $\vec{j}_{\text{libre}}$  est la densité de courants de volume (courants « vrais » ou « de charges libres »). Sous forme intégrale, on obtient le théorème d'Ampère sur un contour fermé orienté :  $\oint_{(\Gamma)} \vec{H} \cdot d\vec{l} = I_{\text{libre enlacé}}$ .

L'énoncé, dans cette question, est bien trop imprécis. On admet qu'autour de chaque fil conducteur ( $Mz$ ), il existe ce que l'énoncé appelle une « ligne de champ moyenne », centrée en  $M$ , appartenant au fil, en forme de rectangle  $ABCD$ .

Ceci peut se justifier car le champ  $\vec{H}$  traverse l'entrefer avec un chemin le plus court possible.

De plus, le plan contenant le conducteur ( $Mz$ ) et l'axe ( $My$ ) est un plan de symétrie pour les courants, et cette symétrie n'est pas rompue par la présence de milieu magnétique. C'est donc un plan d'antisymétrie pour les champs  $\vec{B}$  et  $\vec{H}$ .

Ainsi, le champ  $\vec{H}$  a même norme sur les segments  $AB$  et  $CD$  du rectangle, mais il y est de sens opposé. Le plan  $xMz$  est aussi plan de symétrie



pour les courants, et la présence de milieux ferromagnétiques assure que le champ  $\vec{H}$  est opposé sur les segments  $BC$  et  $DA$ . En notant :  $\vec{H}_{\text{air}} = H_{\text{air}} \vec{e}_y$  sur la portion de  $AB$  située dans l'air, et en notant  $\vec{H}_{\text{fer}} = H_{\text{fer}} \vec{e}_x$  sur  $DA$ , on a :

$$H_{\text{fer}} l_{\text{fer}} + 2H_{\text{air}} e = I.$$

NB : les grandeurs scalaires  $H_{\text{fer}}$ ,  $H_{\text{air}}$  de l'énoncé ne sont pas définies. Nous les prendrons algébriques.

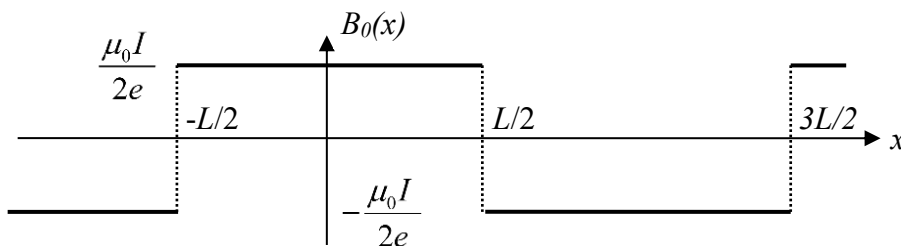
**Q4.** C'est la conservativité du flux de  $\vec{B}$  qui permet cette affirmation. Maxwell-Thomson :  $\text{div } \vec{B} = 0$ .

**Q5.** Dans un milieu linéaire homogène isotrope (lhi),  $\vec{B} = \mu_0 \mu_r \vec{H}$  D'où  $B_{\text{air}} = B = \mu_0 H_{\text{air}}$   $B_{\text{fer}} = B = \mu_0 \mu_r H_{\text{fer}}$ .

L'équation de **Q3.** donne  $\frac{Bl_{\text{fer}}}{\mu_0 \mu_r} + \frac{2Be}{\mu_0} = I$  et en tenant compte de  $\frac{l_{\text{fer}}}{\mu_r} \square e$ , on obtient :  $B \approx \frac{\mu_0 I}{2e}$ .

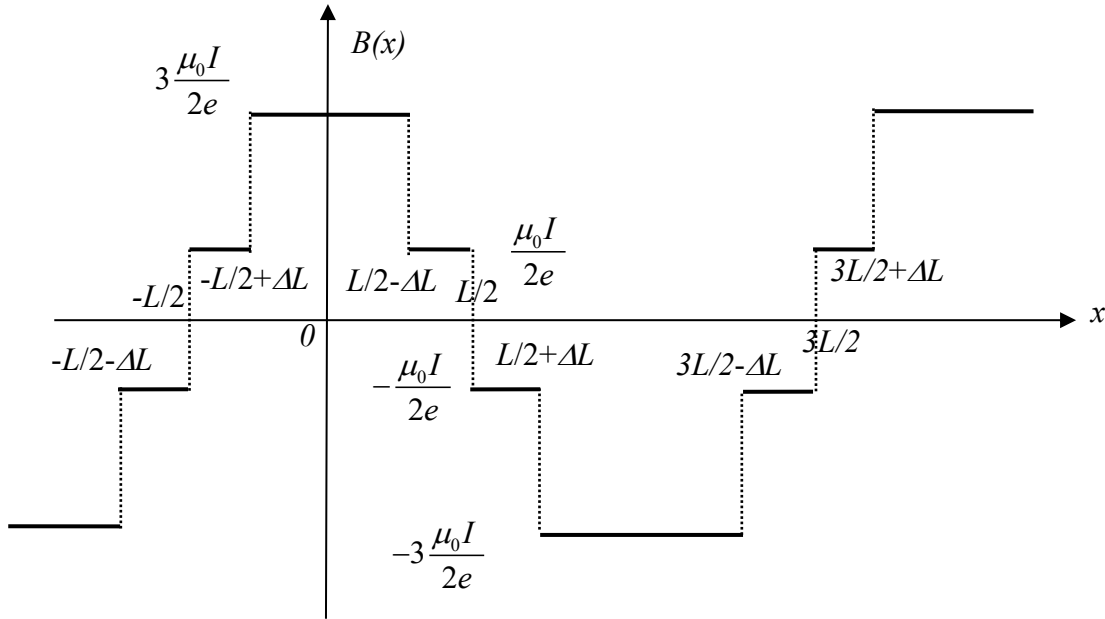
Pour maximiser le champ, et la densité d'énergie stockée dans l'entrefer, on a intérêt à choisir un entrefer étroit.

**Q6.** L'origine de l'axe  $Ox$  n'est pas bien précisée dans le texte. On la choisit ici, comme le suggère les figures 2 et 4, et comme la figure ci-dessus, à mi-chemin entre deux conducteurs parcourus par des courants opposés. Le plan  $(O, y, z)$  est alors un plan d'antisymétrie de la distribution de courant. Le champ  $\vec{B}$  est alors symétrique par rapport à ce plan et la fonction  $B(x)$  est paire de période  $2L$ . C'est un créneau d'amplitude  $\frac{\mu_0 I}{2e}$ , et positive entre  $-\frac{L}{2}$  et  $\frac{L}{2}$ .



**Q7.** La répartition proposée est la superposition de trois configurations précédentes identiques et décalées d'une distance  $\Delta L$ , chacune créant un champ analogue à celui de la question précédente, mais décalé du précédent, d'un côté pour l'une, et de l'autre côté pour l'autre. On obtient alors la figure ci-dessous.

NB : En augmentant le nombre de conducteurs, on se rapprocherait d'une forme sinusoïdale pour cette courbe, ce qui justifie le champ de période  $2L$  donné pour la suite :  $\vec{B} = KI \cos\left(\frac{\pi x}{L}\right) \vec{e}_y$



Q8. Le champ total est, en chaque point, la superposition des champs créés par les deux multipôles :

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 = KI_s \cos\left(\omega_s t\right) \cos\left(\frac{\pi x}{L}\right) \vec{e}_y + KI_s \sin\left(\omega_s t\right) \cos\left(\frac{\pi(x-L/2)}{L}\right) \vec{e}_y$$

$$= KI_s \vec{e}_y \left[ \cos\left(\omega_s t\right) \cos\left(\frac{\pi x}{L}\right) + \sin\left(\omega_s t\right) \sin\left(\frac{\pi x}{L}\right) \right] = KI_s \vec{e}_y \cos\left(\omega_s t - \frac{\pi x}{L}\right) = KI_s \vec{e}_y \cos\left(\omega_s \left(t - \frac{\pi x}{\omega_s L}\right)\right)$$

On a bien une onde progressive se propageant dans le sens des  $x$  croissants :  $\vec{v}_s = \frac{\omega_s L}{\pi} \vec{e}_x$ .

Q9. Pour inverser le sens de propagation de cette onde magnétique, il faut avoir une phase:  $\omega_s t + \frac{\pi x}{L}$ .

Ceci est obtenu en inversant le sens du courant dans une phase (ou en la déphasant de  $\pi$ ).

Application numérique :  $L = \frac{\pi v_s}{\omega_s} = \frac{v_s}{2f_s} = 69 \text{ cm}$ .

Q10. En dérivant, :  $\frac{\partial \vec{B}}{\partial x} = kB_0 \sin(\omega_s t - kx) \vec{e}_y$  Donc :  $\vec{M} \cdot \frac{\partial \vec{B}}{\partial x} = 2LbI kB_0 \sin(\omega_s t - kx)$

Le centre du dipôle correspond à l'abscisse  $x = x_0 + vt$ , donc :  $F_x(t) = 2LbI kB_0 \sin((\omega_s - kv)t - kx_0)$ .

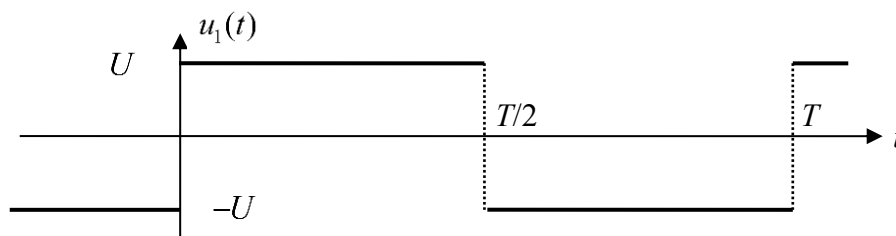
Q11. Comme dans le cours sur les machines tournantes synchrones, si  $\omega_s \neq kv$ , alors la force varie sinusoïdalement au cours du temps et possède une moyenne temporelle nulle. Le moteur ne fonctionne pas.

Si  $\omega_s = kv$  (condition de synchronisme), alors :  $F_x(t) = -2LbI kB_0 \sin(kx_0)$  ne dépend plus du temps. La force peut s'ajuster à la charge suivant la valeur de  $x_0$ .  $\vec{F} = -2LbI kB_0 \sin(kx_0) \vec{e}_x$ .

Pour avoir une force positive maximale, il faut  $kx_0 = -\frac{\pi}{2} (2\pi)$  soit  $x_0 = -\frac{\pi}{2k} \left(\frac{2\pi}{k}\right)$ .

Q12. Dans la première demi-période, la source de tension est directement connectée à la charge, et  $u_1(t) = U$

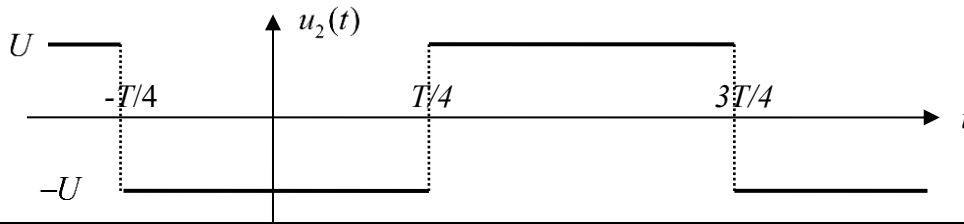
Dans la deuxième demi-période, la source est connectée à la charge en inversant ses bornes,  $u_1(t) = -U$



**Q13.** Pour une onde magnétique se déplaçant vers les  $x$  croissants

Il faut  $i_2(t)$  en retard de  $\frac{T}{4}$  par rapport à  $i_1(t)$ , donc il faut que  $u_2(t)$  soit aussi en retard de  $\frac{T}{4}$  par rapport à  $u_1(t)$ .

On en déduit le chronogramme de  $u_2(t)$  :



$K_{2b}$  et  $K_{2c}$  sont fermés sur l'intervalle de temps  $\left[-\frac{T}{4}, \frac{T}{4}\right]$ ,  $K_{2a}$  et  $K_{2d}$  sont fermés sur  $\left[\frac{T}{4}, \frac{3T}{4}\right]$

Pour une onde magnétique se déplaçant vers les  $x$  décroissants

Il faut inverser  $u_2(t)$  pour inverser  $i_2(t)$ , et donc :

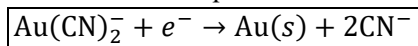
$K_{2a}$  et  $K_{2d}$  sont fermés sur  $\left[-\frac{T}{4}, \frac{T}{4}\right]$  ;  $K_{2b}$  et  $K_{2c}$  sont fermés sur  $\left[\frac{T}{4}, \frac{3T}{4}\right]$ .

**Problème n°2 :** extrait de CCINP PSI 2022 épreuve de physique-chimie

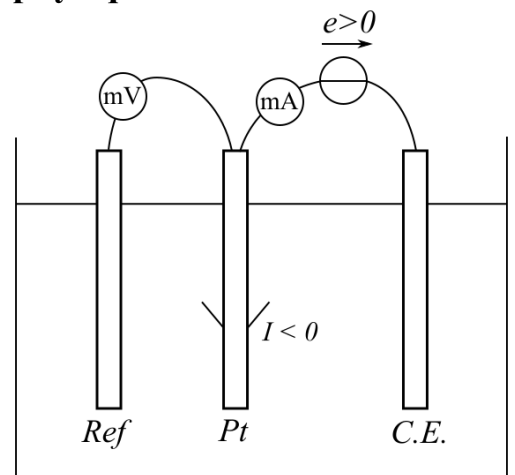
**Q7.** Le schéma du dispositif expérimental permettant de relever la courbe intensité-potential du couple  $\text{Au}(\text{CN})_2^-/\text{Au}(s)$  sur électrode de platine est ci-contre.

**Q8.** Pour le millivoltmètre, il faut un appareil de très grande impédance d'entrée, car une électrode de référence ne joue bien son rôle que si le courant qui la traverse est négligeable.

**Q9.** Dans  $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ , le nombre d'oxydation de Au est +I. En effet, l'ion  $\text{Au}(\text{CN})_2^-$  est le complexe formé du cation  $\text{Au}^+$  et de deux anions  $\text{CN}^-$ . La demi-équation de réduction est donc



**Q10.** Quand il s'agit d'une réduction, ce courant  $I$  est négatif, comme le montre la figure.



**Q11.** La figure 3 de l'énoncé montre que la courbe intensité-potential quitte l'axe des abscisses dès son point de départ (il n'y a pas de surpotential au démarrage), elle témoigne donc d'un couple rapide.

Oui, d'un point de vue cinétique, plus le potentiel est faible (plus il est inférieur à -0,6 V), plus la densité de courant  $J$  est élevée, donc plus la vitesse de demi-réaction est grande.

Mais si le potentiel devient trop faible, il y a le risque de faire apparaître une autre demi-réaction de réduction, non souhaitée, comme par exemple la réduction de l'eau en dihydrogène.

**Q12.** On lit sur la courbe de la figure 3, pour un potentiel de -1,4 V,  $J = -7,6 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2} = \boxed{-76 \text{ A} \cdot \text{m}^{-2}}$ .

Si  $S$  est bien la section de l'électrode, pour une durée de fonctionnement  $dt$ , la charge qui circule dans l'électrolyseur est  $\delta q = |JS|dt$ .

D'après la demi-réaction écrite en Q9, il circule 1 mole électrons pour chaque mole d'or déposée, donc pour  $dn$  moles d'or,  $\delta q = dn F$ . Il vient  $dn F = |JS|dt$ , d'où, en intégrant,  $\frac{m_{\text{Au}}}{M_{\text{Au}}} F = |JS|\Delta t$ , puis  $m_{\text{Au}} = \frac{|JS|\Delta t M_{\text{Au}}}{F}$ .

**Q13.** On a vu à la question Q11 qu'il ne faut pas trop augmenter  $|J|$ , sous peine de voir le rendement faradique baisser. Il vaut mieux augmenter  $S$ .