Physique Générale A

Série d'exercices 14 : Magnétisme II - corrigé - 17 février 2026

1.) **Flux magnétique**

A. Vrai. Au temps $t = 0$ (situation du dessin) le flux magnétique est positif. En effet, on a : $\Phi = \vec{B} \cdot \vec{A} = BA\cos(0°) = BA > 0$.

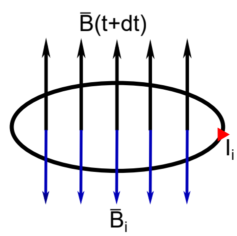
B. Vrai. Après 1 s la spire a tourné de 90°. Donc le flux magnétique traversant la spire est : $\Phi = \vec{B} \cdot \vec{A} = BA\cos(90°) = 0$.

C. Vrai. Après 2 s la spire a tourné de 180°. Donc le flux magnétique traversant la spire est : $\Phi = \vec{B} \cdot \vec{A} = BA\cos(180°) = -BA < 0$.

D. Faux. Le flux magnétique diminue d'une valeur positive au temps $t = 0$ s à une valeur négative au temps $t = 2$ s. Donc $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} < 0$ et la tension sera positive entre 0 et 2 s. Par un même raisonnement, on montre que la tension sera négative entre 2 et 4 s. La tension sera nulle juste à $t = 0$ s et $t = 2$ s. Mais le reste du temps elle n'est pas nulle.

2.) **QCM A: Loi de Lenz**

D. Comme $\bar{B}(t) < \bar{B}(t + dt)$, Le flux du champ magnétique augmente en valeur absolue avec le temps. Pour compenser cette augmentation, le champ induit $\bar{B}_i$ doit avoir une direction opposée à $\bar{B}$. Pour que cela se produise, le courant induit I_i doit circuler dans le sens horaire, comme indiqué sur la figure.



3.) **QCM A : Puissance dissipée par une bobine (Faraday + Ohm) :**

Réponse C. Le flux vaut $\Phi = BA\cos\theta$. Ici $\theta = 0$ donc $\Phi = BA$. Par Faraday, la valeur absolue de la tension induite est

$$|V_{\text{ind}}| = N\left|\frac{d\Phi}{dt}\right| = NA\left|\frac{dB}{dt}\right|.$$

Le courant vaut $I = |V_{\text{ind}}|/R$ et la puissance Joule dissipée est $P = I^2R = V_{\text{ind}}^2/R$. Donc

$$P = \frac{(NA\,|dB/dt|)^2}{R} \quad \Rightarrow \quad \left|\frac{dB}{dt}\right| = \frac{\sqrt{PR}}{NA}.$$

Avec $r = 0.10$ m, $A = \pi r^2 = \pi(0.10)^2 = 3.14 \times 10^{-2}\,\text{m}^2$,

$$\sqrt{PR} = \sqrt{2 \times 40} = \sqrt{80} = 8.94, \qquad NA = 200 \times 3.14 \times 10^{-2} = 6.28,$$

d'où

$$\left|\frac{dB}{dt}\right| \approx \frac{8.94}{6.28} \approx 1.42 \text{ T/s}.$$

4.) **QCM K' : Induction par le mouvement**

A. Faux. Selon la loi de Lorentz, les charges subissent une force magnétique: $\vec{F}_M = q\vec{v} \times \vec{B}$. La force est donc perpendiculaire au champ magnétique.

B. Faux. D'après la règle de la main droite, $\vec{v} \times \vec{B}$ est dirigé vers le bas du fil conducteur. Les électrons ont une charge négative. Donc la force magnétique sur les électrons est dirigée vers le haut du fil.

C. Vrai. D'après le cours, ce fil se comporte, après déplacememt des charges, comme une pile qui ne débite pas de courant. Le travail ressenti par la force de Lorentz vaut : $W_M = F_M l = qvBl$. Ainsi, l'amplitude de la tension induite par le déplacement des charges dans le fil est : $V = vBl = 1\ \text{m/s} \cdot 0.5\ \text{T} \cdot 0.05\ \text{m} = 25\ \text{mV}$.

D. Vrai. Le déplacement des charges continue jusqu'à l'équilibre entre la force magnétique et la force électrostatique, soit quand $qE = qvB$. Donc $E = vB = 1\ \text{m/s} \cdot 0.5\ \text{T} = 0.5\ \text{N/C}$. Rappel [T]=[N][s]/([C][m])

5.) **QCM K', Générateur :**

A. Vrai. La tension induite aux bornes de la bobine est donnée par $V_{\text{ind}} = N\omega \cdot B \cdot A \cdot sin(\omega t)$. La valeur maximale de la tension induite, quand $\omega t = 90°$ ou $270°$ est: $V_{\text{ind}} = N\omega \cdot B \cdot A = N \cdot (2\pi f) \cdot B \cdot A$. En remplaçant par les valeurs données:

$$V_{\text{ind}} = N \cdot (2\pi f) \cdot B \cdot A = 8(0.09\ \text{m}^2)(0.5\ \text{T})(2\pi)(60\ \text{Hz}) = 136\ \text{V} \tag{1}$$

B. Vrai. La tension induite aux bornes de la bobine augmente avec la fréquence de rotation, ce qui revient à dire qu'elle augmente avec la vitesse de rotation.

C. Faux. La tension induite dépend de la variation du flux magnétique dans les spires. Le flux magnétique dépend lui du champ magnétique et de la surface normale au champ magnétique. La résistance du fil n'influence pas le flux magnétique et donc pas la tension induite.

D. Faux. En utilisant la loi d'Ohm, on a : $I_{\text{ind}} = \frac{V_{\text{ind}}}{R} = \frac{136\ \text{V}}{12\Omega} = 11.3\ \text{A}$.

6.) **QCM K', Tension alternative :**

Lorsque l'aimant tourne avec une vitesse angulaire ω, le flux magnétique à travers la bobine varie selon: $\Phi = BA\cos(\omega t)$. La tension induite aux bornes de la bobine est donc donnée par $V_{\text{ind}} = -N\frac{d\Phi}{dt} = -NAB\frac{d}{dt}(\cos(\omega t)) = +\omega NAB\sin(\omega t)$.

A. Vrai. On a $f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{\pi \text{rad}/s}{2\pi} = 0.5$ Hz.

B. Faux. Φ varie comme $\cos(\omega t)$ et trouve sont maximum quand $t = 0, \frac{\pi}{\omega}$. V_{ind} varie comme $\sin(\omega t)$ et atteint sa valeur maximum quand $t = \frac{\pi}{2\omega}, \frac{3\pi}{2\omega}$; les fonctions cos et sin n'oscillent pas en phase.

C. Vrai. Le flux magnétique est donnée $\Phi(t) = BA\cos(\omega t)$ et la tension par $V_{\text{ind}} = \omega NAB\sin(\omega t)$. Les deux quantités varient avec la même fréquence $f = \frac{\omega}{2\pi}$.

D. Faux. La tension induite est une fonction sinus multipliée par ωNAB. Si ω double, l'amplitude et la fréquence d'oscilliation vont doubler.

7.) **QCM K', Circuit RL :**

Dans un circuit RL série (pile idéale, résistance interne négligeable), la loi des mailles donne

$$V - RI - L\frac{dI}{dt} = 0 \quad \Longleftrightarrow \quad L\frac{dI}{dt} + RI = V.$$

Avec la condition initiale $I(0) = 0$, la solution est

$$I(t) = \frac{V}{R}\left(1 - e^{-t/\tau}\right), \qquad \tau = \frac{L}{R}.$$

A. Faux. Le courant dans une inductance ne peut pas changer instantanément; il s'approche progressivement de V/R.

B. Vrai. Par définition de l'auto-induction, $V_L = -L\,\dfrac{dI}{dt}$; le signe "$-$" (Lenz) signifie opposition à la variation de I.

C. Vrai. En posant $t = \tau$, on obtient

$$I(\tau) = \left(1 - e^{-1}\right)\frac{V}{R} \approx 0.63\,\frac{V}{R}.$$

D. Faux. Comme $\tau = L/R$, si R augmente (à L fixé), τ diminue.

8.) **QCM A: Coefficient d'auto-induction**

A. Le champ d'induction $\bar{B}_i$ présent à l'intérieur du solénoïde est dirigé le long de son axe, et sa norme vaut:

$$\bar{B}_i = \mu_0 \frac{N}{l} I \tag{2}$$

Le flux magnétique $\Phi(\bar{B}_i)$ lié à chaque spire est obtenu en multipliant $\bar{B}_i$ par la surface de la spire $S = \pi R^2$. Étant donné que le solénoïde est composé de $N = 10^4$ spires, alors $\Phi(\bar{B}_i) = B_i NS$:

$$\Phi(\bar{B}_i) = B_i NS = \mu_0 \frac{N}{l} INS = \mu_0 \frac{N^2 S}{l} I = \mu_0 \frac{N^2 \pi R^2}{l} I \tag{3}$$

À partir de là, on obtient le coefficient d'auto-induction L:

$$L = \frac{\Phi(\bar{B}_i)}{I} = \mu_0 \frac{N^2 \pi R^2}{l} = 4\pi 10^{-7}\text{H/m} \times (10^4)^2 \times \frac{\pi (0.01)^2 \text{m}^2}{0.2\text{m}} = 197.2\text{mH} \tag{4}$$

9.) **Exercice d'approfondissement : Conducteur cylindrique**

A.

B. Par symétrie cylindrique, $\vec{B}$ est tangent aux cercles centrés sur l'axe et sa norme ne dépend que de r. Avec une boucle d'Ampère circulaire de rayon $r < R$:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = B(r)\,2\pi r = \mu_0 I_{\text{enc}}(r).$$

Le courant étant uniformément réparti sur la section πR^2, la fraction de courant enfermée dans le disque de rayon r vaut

$$I_{\text{enc}}(r) = I\,\frac{\pi r^2}{\pi R^2} = I\,\frac{r^2}{R^2}.$$

Donc

$$B(r) = \frac{\mu_0 I_{\text{enc}}(r)}{2\pi r} = \frac{\mu_0 I}{2\pi R^2}\,r.$$

Pour $r = R/2$:

$$B_{R/2} = \frac{\mu_0 I}{2\pi R^2} r = \frac{\mu_0 I}{2\pi R^2}\,\frac{R}{2} = \frac{4 \times \pi \times 10^{-7}\text{Tm/A} \times 2\text{A}}{2 \times \pi \times (0.02)^2 \text{m}^2} 0.01\text{m} = 10^{-5} T \tag{5}$$

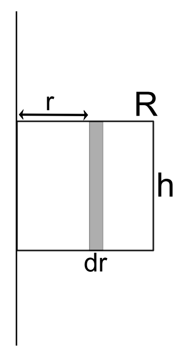
C. Le champ d'induction magnétique à une distance x de l'axe est donné par l'équation:

$$B_r = \frac{\mu_0 I}{2\pi x} = B_{R/2} \tag{6}$$

$$x = \frac{\mu_0 I}{2\pi B_{R/2}} = \frac{4 \times \pi \times 10^{-7}\text{Tm/A} \times 2\text{A}}{2 \times \pi \times 10^{-5} T} = 0.04\text{m} = 4\text{cm} \tag{7}$$

Il prend la même valeur que celle trouvée au point a) pour $x = 2R$.

D. Pour répondre à la dernière question, il faut se rappeler que les lignes de champ du vecteur B sont, à l'intérieur et à l'extérieur du conducteur, des cercles avec le centre sur l'axe du cylindre et disposées perpendiculairement à celui-ci, avec une direction dépendante du sens du courant. Si l'on considère une section diamétrale, le champ B sera perpendiculaire en tous points. Cependant, la valeur de B n'est pas la même en tous les points de la section, car elle dépend du rayon. Étant donné que l'intensité du flux qui traverse la moitié droite de la section coïncide avec celle de la moitié gauche, il suffit de calculer l'une des deux. Si l'on considère un rectangle infinitésimal comme indiqué dans la figure, de base dr et de hauteur $h = 1$ m, on peut supposer que le champ B est constant à l'intérieur, donc le flux lié au rectangle infinitésimal est donné par la valeur de B multipliée par l'aire du rectangle. Le flux total de moitié droite est la somme des flux infinitésimaux liés aux rectangles infinitesimaux.



$$d\phi = B(r)hdr = \frac{\mu_0 I}{2\pi R^2} r \times h \times dr \tag{8}$$

$$\Phi = \int_0^R d\phi = \frac{\mu_0}{2\pi R^2} hI \int_0^R rdr = \frac{\mu_0}{2\pi R^2} hI \frac{r^2}{2}\Big|_0^R = \frac{\mu_0}{2\pi R^2} hI \frac{R^2}{2} = \frac{\mu_0}{4\pi} Ih \tag{9}$$

$$\Phi = \frac{4\pi 10^{-7}\text{Tm/A}}{4\pi} 2A \times 1 = 2 \times 10^{-7}\text{Wb} \tag{10}$$

Le flux total est la somme des flux traversant la moitié droite et gauche, qui ont la même intensité mais de sens opposé. Ainsi, le flux total est nul.

$$\Phi_{tot} = \Phi_d - \Phi_g = 2 \times 10^{-7}\text{Wb} + (-2 \times 10^{-7}\text{Wb}) = 0\text{Wb} \tag{11}$$

10.) **Exercice d'approfondissement : Transformateur**

A. Dans la bobine primaire rouge comportant N_1 spires, il se crée un flux magnétique ϕ_1. Par auto-induction, une tension U_1 s'exerce aux bornes de la bobine et dépend comme :

$$U_1 = -N_1 \frac{d\phi_1}{dt}, \tag{12}$$

avec N_1 le nombre de spires de la bobine primaire.

B. Ce flux magnétique ϕ_1 est ensuite acheminé via un noyau en fer jusqu'au coeur de la bobine secondaire bleue. Par induction, il se crée une tension U_2 comme suit :

$$U_2 = -N_2 \frac{d\phi_2}{dt}, \tag{13}$$

avec N_2 le nombre de spires de la bobine secondaire et ϕ_2 le flux magnétique ressenti dans la bobine secondaire.

C. Comme le noyau de fer emprisonne parfaitement le flux magnétique, ceci implique :

$$\phi_1 = \phi_2 = \phi.$$

Ainsi, les équations (1) et (2) combinées donnent :

$$\frac{U_1}{N_1} = \frac{U_2}{N_2} = -\frac{d\phi}{dt},$$

et donc sous une autre forme :

$$U_2 = U_1 \frac{N_2}{N_1}, \tag{14}$$

ou

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}. \tag{15}$$

D. Pour l'application numérique, avec la relation (4), on peut écrire :

$$N_2 = N_1 \frac{U_2}{U_1} = 5000\, spires \times \frac{220\, V}{100000\, V} = 11\, spires.$$