

1) Question rédigée avec rappels de cours.

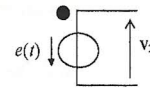
Malgré la remarque de l'énoncé sur les signes, on peut faire les démonstrations complètes du point de vue des orientations.

Compte tenu de la position des bornes homologues, le schéma des enroulements est le suivant :

On applique le théorème d'Ampère sur le contour de rayon  $R$  orienté comme indiqué sur la figure, qui est une ligne de champ de  $\vec{H}$ .

En considérant que la valeur algébrique  $H$  de  $\vec{H}$  est uniforme, on obtient  $H \cdot 2\pi R = N_1 i_1 + N_2 i_2$ . Comme  $N_2 i_2 \ll N_1 i_1$ , il reste  $H = \frac{N_1 i_1}{2\pi R}$  d'où  $K_1 = \frac{N_1}{2\pi R}$ .

2-a) D'après la loi de Faraday, la fem d'induction dans le secondaire est  $e(t) = -\frac{d\phi_2(t)}{dt}$  où  $\phi_2(t) = N_2 \phi_{CM}$  est le flux total à travers les  $N_2$  spires de la bobine d'où  $e(t) = -N_2 \frac{d\phi_{CM}(t)}{dt}$ . D'après la position de la borne homologue, le schéma électrique équivalent du secondaire est :



On en déduit  $v_2(t) = -e(t)$  puis  $v_2(t) = N_2 \frac{d\phi_{CM}(t)}{dt}$ .

Puisque le ferromagnétique canalise les lignes de champ, le flux commun à travers une spire du primaire ou du secondaire est  $\phi_{CM}(t) = \iint \vec{B}(t) \cdot \vec{n}_z dS = B(t) \cdot S$  (la valeur algébrique  $B$  de  $\vec{B}$  est uniforme).

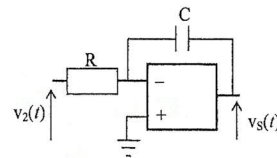
On en déduit  $v_2(t) = N_2 S \frac{dB(t)}{dt}$ .

Comme l'intégrateur réalise  $v_s(t) = -\alpha \int v_2(\tau) d\tau$  :

$$v_s(t) - v_s(0) = -\alpha \int_0^t N_2 S \frac{dB(\tau)}{d\tau} d\tau = -\alpha N_2 S \int_{B(0)}^{B(t)} dB = -\alpha N_2 S [B(t) - B(0)].$$

En prenant l'origine des temps telle que  $B(0) = 0$ , il reste  $v_s(t) = -\alpha N_2 S B(t)$  d'où  $K_2 = -\frac{1}{\alpha N_2 S}$ .

b) L'amplificateur fonctionne en régime linéaire si la sortie est reliée à son entrée inverseuse. Le schéma de l'intégrateur (idéal) est donc le suivant :



- à la borne (+) reliée à la Terre,  $v_+ = 0$  par construction ;
- à la borne (-),  $i_- = 0$  dans le modèle idéal de l'amplificateur opérationnel à impédance d'entrée infinie. On a donc  $\frac{v_2(t) - v_-(t)}{R} = C \frac{d[v_-(t) - v_s(t)]}{dt}$ .

l'amplificateur fonctionne en régime linéaire ce qui se traduit, dans le modèle idéal, par  $v_+(t) = v_-(t)$ . On en déduit  $v_-(t) = 0$  puis  $v_2(t) = -RC \frac{dv_s(t)}{dt}$  ou encore  $v_s(t) - v_s(0) = -\frac{1}{RC} \int_0^t v_2(\tau) d\tau$ . On a déduit  $\alpha = \frac{1}{RC}$ .

3) Sur la voie X, on observe la tension  $u_X = R_{01} i_1 = R_0 \frac{H}{K_1}$  et sur la voie Y,  $u_Y = \frac{B}{K_2}$ .

• Le champ magnétique rémanent correspond à  $u_Y = 2,6V$  soit  $B_r = 0,52 T$ .

• Le champ magnétique à saturation correspond à  $u_Y = 6V$  soit  $B_{sat} = 1,2 T$ .

• L'excitation coercitive correspond à  $u_X = 0,5 V$  soit  $H_c = 50 A \cdot m^{-1}$ .

4) • Pour réaliser le noyau ferromagnétique d'un transformateur, il faut un matériau doux (surface du cycle étroite et faible champ rémanent : on prendra ici la ferrite. (Rq : utilisée en réalité seulement pour les petits transfo, et à haute fréquence)

• Pour réaliser un aimant permanent, il faut un matériau à champ rémanent élevé : on prendra le fer.

5) La densité volumique d'énergie dissipée dans le matériau est  $w_V = \int_{B(r=0)}^{B(r=T)} H(B) dB$  c'est-à-dire l'aire du cycle d'hystérésis. Un carreau de l'écran de l'oscilloscope de côtés IV et 2V correspond dans l'espace (H, B) à un carré de côté  $(100 A \cdot m^{-1}, 0,4 T)$ . L'aire du cycle correspond donc à  $w_V = (6)(100)(0,4) = 240 J \cdot m^{-3}$ .

### Parties B, C, et D

1) Le matériau est linéaire donc  $\vec{B} = \mu_0 \mu_r \vec{H}$ . L'excitation  $\vec{H}$  possède donc les mêmes propriétés de symétrie que  $\vec{B}$ , celles d'un pseudo vecteur. L'excitation est créée par l'intensité qui circule dans le fil et le milieu magnétique qui canalise les lignes de champ.

La source (matière aimantée + courant dans le fil) est invariante par symétrie par rapport au plan contenant l'axe Oz et passant par le point d'observation M. Le champ  $\vec{H}(M)$  est donc perpendiculaire à ce plan. Dans la base cylindrique d'axe Oz, on peut écrire  $\vec{H}(M) = H(r, \theta, z) \vec{e}_\theta(M)$ .

La source est invariante par rotation d'un angle  $\theta$  quelconque autour de Oz donc la valeur algébrique H ne dépend pas de  $\theta$ . Il reste donc  $\vec{H}(M) = H(r, z) \vec{e}_\theta(M)$  puis  $\vec{B}(M) = B(r, z) \vec{e}_\theta(M)$ .

2) D'après ce qui précède, les lignes de champ de  $\vec{H}$  et  $\vec{B}$  sont des cercles centrés sur Oz. On utilise le théorème d'Ampère dans la matière aimantée sur un tel cercle de rayon r à l'intérieur du matériau, orienté comme  $\vec{e}_\theta(M)$ , noté  $\Gamma$  :  $\oint_{\Gamma} \vec{H} \cdot d\vec{l} = i_r$  soit ici  $H(r, z) 2\pi r = i(t)$ . On en déduit :

$$B(r, z, t) = \frac{\mu_0 \mu_r i(t)}{2\pi r} \text{ à l'intérieur du matériau. À l'extérieur, } \mu_r = 1 \text{ et il reste } B(r, z, t) = \frac{\mu_0 i(t)}{2\pi r}.$$

3) Soit une section parallèle à Oz telle que  $r \in [a, b]$  (correspondant donc à un demi tore). On a alors  $\phi(t) = \iint \frac{\mu_0 \mu_r i(t)}{2\pi r} \vec{e}_\theta(M) \cdot \vec{e}_\theta(M) dr dz = \frac{\mu_0 \mu_r i(t)}{2\pi} \int_a^b \frac{dr}{r} \int_0^{2\pi} dz$  soit  $\phi(t) = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} i(t) \text{Hln}\left(\frac{b}{a}\right)$ .

4) Le champ magnétique créée par les courants varie dans le temps donc il crée une fem d'induction dans la bobine  $e = -\frac{d\phi(t)}{dt}$ . Les courants circulent en sens contraire donc ils créent des flux de signes opposés. Tant que les courants sont égaux en valeur absolue, le flux total est nul et la fem aussi.

Dans le cas où il existe un courant de fuite, le flux n'est pas nul et il apparaît une fem qui se traduit par une tension aux bornes de la bobine, car le courant est variable (alternatif à 50 Hz)

5) Le flux total à travers les N spires de la bobine est  $\phi(t) = N \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} (i_{aller}(t) - i_{retour}(t)) \text{Hln}\left(\frac{b}{a}\right)$  et la fem d'induction  $e(t) = -N \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \text{Hln}\left(\frac{b}{a}\right) \frac{d(\Delta i(t))}{dt}$  en notant  $\Delta i(t) = i_{aller}(t) - i_{retour}(t)$ . Ces courants étant sinusoïdaux de même pulsation  $\omega$ , on peut écrire  $\Delta i(t) = \Delta i_{max} \cos(\omega t)$  d'où

$e(t) = N \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \text{Hln}\left(\frac{b}{a}\right) \omega \Delta i_{max} \sin(\omega t)$ . La valeur efficace de la tension aux bornes de la bobines est donc  $V_{B,eff} = N \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \text{Hln}\left(\frac{b}{a}\right) \omega \Delta i_{eff}$ . L'électroaimant se déclenche si  $V_{B,eff} = V_{seuil}$ . On doit donc avoir  $\Delta i_{eff} < \Delta i_{eff,max}$  pour cette tension soit :

$$N > \frac{2\pi V_{\text{seuil}}}{\mu_0 \mu_r H \ln\left(\frac{b}{a}\right) \omega \Delta i_{\text{eff,max}}} \quad \text{AN } N_{\text{MIN}} = \frac{2\pi}{(4\pi \times 10^{-7})(10^6)(10^{-2}) \ln(2)(2\pi \times 50)(30 \times 10^{-3})} \stackrel{(5)}{=} 380 \text{ spires}$$

6) On veut  $\frac{dB}{dH}$  maximum au voisinage de  $H=0$  car la variation de  $B$  donc de flux sera grande pour un  $\Delta i$  petit, ce qui permet donc une plus grande sensibilité du disjoncteur.

7) Un transformateur isole le circuit secondaire du circuit primaire. Aucun des fils du secondaire n'est plus relié à un potentiel fixé (comme celui de la terre). Il ne s'établit donc pas de différence de potentiel entre le point de contact du corps avec le fil et le point de contact avec la terre qui engendrerait un courant.

Mais une électrisation peut survenir si le conducteur de phase et le conducteur neutre sont touchés en même temps par deux parties du corps (les deux mains par exemple, le courant passe alors à travers le corps). Autre limite: le poids et le prix élevés du transformateur.

centrale Phg 2  
PSI 21 a B eni

**SPE PSI\* 09/10**

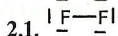
**PROBLEME I] LA CHIMIE AUTOUR DU FLUOR**

**Concours blanc 1 corrigé**

**1.1.** F (Z = 9) :  $1s^2 2s^2 2p^5$ .

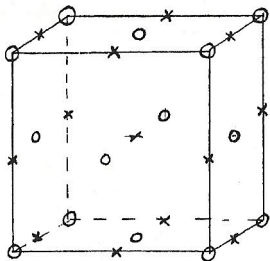
**1.2.** 7 électrons de valence.

**1.3.** Le fluor appartient à la famille des halogènes (avant dernière colonne du tableau périodique, le fluor étant à la 2<sup>ème</sup> ligne).



**2.2.** Liaison covalente (chimique) entre les deux atomes de fluor dans la molécule F<sub>2</sub>.

**3.1.** Structure type NaCl pour KF



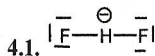
○ F<sup>-</sup>  
× K<sup>+</sup>

**3.2.** K<sup>+</sup> :  $12 \times \frac{1}{4} + 1 = 4$  par maille ; F<sup>-</sup> :  $8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4$  par maille.

$$\rho = \frac{4(M_K + M_F)}{N_A a^3} \Leftrightarrow a = \left( \frac{4(M_K + M_F)}{N_A \rho} \right)^{1/3} ; \text{A.N.}$$

$$a = \left( \frac{4(39,1 + 19) \cdot 10^{-3}}{6,02 \cdot 10^{23} \times 2480} \right)^{1/3} = 5,38 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 538 \text{ pm.}$$

$$\text{3.3. } C = \frac{4 \times \left( \frac{4}{3} \pi R_+^3 + \frac{4}{3} \pi R_-^3 \right)}{a^3} ; \text{A.N. } C = 52,4\%$$



**4.2.** Ion HF<sub>2</sub><sup>-</sup> du type AX<sub>2</sub> donc géométrie linéaire par la méthode VSEPR.

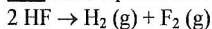
**5.1.** À l'anode, il y a oxydation :  $2\text{F}^- \rightarrow \text{F}_2 + 2\text{e}^-$   
(F passe du degré -I au degré 0) mais F<sup>-</sup> n'intervient pas directement (voir texte c'est HF<sub>2</sub><sup>-</sup> qui réagit et HF<sub>2</sub><sup>-</sup> → F<sup>-</sup> + HF)  
(pas de variation des nombres d'ox dans cette dernière réaction)

Au final, bilan à l'anode :  $2\text{HF}_2^- \rightarrow 2\text{HF} + \text{F}_2(\text{g}) + 2\text{e}^-$

À la cathode, il y a réduction :  $4\text{HF} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{HF}_2^- + \text{H}_2(\text{g})$

(noter que H se réduit en passant du degré I au degré 0)

**5.2.** Soit l'équation de la réaction d'électrolyse :



**5.3.**

**5.4.**  $n_{\text{KF},2\text{HF}} = \frac{m_{\text{KF},2\text{HF}}}{M_{\text{KF},2\text{HF}}}$  soit  $n_{\text{F}_2} = 0,7 n_{\text{KF},2\text{HF}}$  d'après l'équation de la réaction d'électrolyse et le rendement

de 70 %, ce qui correspond à un volume de F<sub>2</sub>(g) de  $V_{\text{F}_2} = \frac{n_{\text{F}_2} RT}{P}$ .

$$\text{A.N. } V_{\text{F}_2} = \frac{0,7 \frac{100 \cdot 10^3}{39,1 + 2 \times 1 + 3 \times 19} \times 8,314 \times (100 + 273,15)}{1,013 \cdot 10^5} = 21,9 \text{ m}^3$$

**5.5.** Il faut appliquer une tension supérieure à la tension thermodynamique de décomposition car :

- il existe éventuellement des surtensions à vide d'origine cinétique à l'anode et à la cathode,
- on veut une intensité non nulle,
- la cellule de l'électrolyseur possède une résistance interne.

