

## CCP PSI Physique 2 session 2002

### Première partie :

$$1.1.1 \quad \text{rot}\left(\frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}\right) = \vec{j}_{\text{lib}} = \text{rot}(\vec{H}) \Rightarrow \oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = I_{\text{lib}} \quad \text{rot}(\vec{B}) = \mu_0 (\vec{j}_{\text{lib}} + \text{rot}(\vec{M}))$$

$$1.1.2 \quad \text{rot}\left(\frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}\right) = \vec{j}_{\text{lib}} = \text{rot}(\vec{H}), \quad \text{et} \quad \oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = I_{\text{lib}}, \quad \text{th. d'Ampère.}$$

1.2.1 Pour un tore, on peut réaliser un enroulement pour lequel H est invariant par rotation autour de son axe.  $l^2 \gg S$  donnera H quasi-uniforme dans le tore.

1.2.2  $\frac{v_y}{u_2} = \frac{1}{1 + jRC\omega}$ . L'intégration est bonne si  $RC\omega \gg 1$  soit si on veut un facteur 100 :  $C = 4,7 \mu\text{F}$  très bon et  $1 \mu\text{F}$  acceptable.

$$1.2.3 \quad \text{Le théorème d'Ampère donne } Hl = n_1 i_1 = n_1 \frac{v_x}{R_0} \Rightarrow H = \frac{n_1 v_x}{R_0 l}.$$

La valeur importante de R impose un courant  $i_2$  faible et  $u_2 \approx \frac{d\Phi_2}{dt} = n_2 S \frac{dB}{dt}$ . L'intégrateur donne

$$u_2 = RC \frac{dv_y}{dt} = n_2 S \frac{dB}{dt} \Rightarrow B = \frac{RC}{n_2 S} v_y + K \quad \text{où } K \text{ est une constante. A un facteur d'échelle près, la courbe } v_y(v_x) \text{ est}$$

le cycle d'hystérésis du matériau.

$$1.2.4 \quad H = 100 \cdot v_x \quad \text{et} \quad B = 0,2 \cdot v_y \quad \text{en S.I.}$$

$$1.2.5 \quad B_r = 0,2 \cdot 2,6 = 0,52 \text{T}, \quad H_c = 100 \cdot 0,5 = 50 \text{Am}^{-1} \quad \text{et} \quad M_r = \frac{B_r}{\mu_0} = 4,1 \cdot 10^5 \text{Am}^{-1}.$$

$$1.3.1 \quad P_h = u_1 i_1 = n_1 S \frac{dB}{dt} \frac{Hl}{n_1} = SlH \frac{dB}{dt} \Rightarrow \text{par cycle } W = Sl \oint H \cdot dB = A \cdot Sl \Rightarrow P_h = f \cdot ASl.$$

1.3.2 Un carreau correspond à  $100 \cdot 0,2 = 20 \text{T} \cdot \text{A/m}$  soit  $P=6 \text{W}$ .

1.4 P faible implique aire faible d'où  $H_c$  faible.

### Deuxième partie

2.1 Le plan  $(\vec{u}_r, \vec{u}_z)$  est plan d'antisymétrie des causes de l'induction.

$$2.2 \quad \text{rot}(\vec{E}) = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \Rightarrow E(r) \cdot 2\pi r = B_0 \cdot \pi r^2 \omega \cdot \sin(\omega t) \Rightarrow \vec{E} = \frac{B_0 \cdot \pi r \omega \cdot \sin(\omega t)}{2} \vec{u}_\theta.$$

$$2.3.1 \quad p(t) = \iiint \gamma E^2 \cdot d\tau \Rightarrow P_j = \gamma \frac{\pi}{4} S_0^2 B_0^2 L f^2.$$

$$2.3.2 \quad \text{A.N. } P_j = 78,5 \text{W}$$

$$2.4.1 \quad \frac{\epsilon_0}{j} \frac{\partial E}{\partial t} \square \frac{\epsilon_0 \omega}{\gamma} = \frac{\omega^2}{c^2} \delta^2 \approx \frac{\delta^2}{\lambda^2} \quad \text{valable à la fréquence très faible concernée.}$$

2.4.2 La distribution de courant est une superposition de nappes surfacique. On l'assimile à une superposition de solénoïdes infinis. Le domaine compris entre les distances  $r$  et  $r+dr$  de l'axe est parcouru par un courant par unité de longueur  $j(r) \cdot dr$ . En un point de matériau, B est créé par les solénoïdes extérieurs et

$$B(r) = \int_r^R \mu_0 j(r') \cdot dr' = \mu_0 \gamma \frac{B_0}{4} \omega \cdot \sin(\omega t) (R^2 - r^2), \quad \text{max en } r=0.$$

$$2.4.3 \quad \text{L'approximation est bonne si } \mu_0 \gamma \frac{B_0}{4} \omega R^2 \ll B_0 \Rightarrow R^2 \ll \frac{4}{\mu_0 \gamma \omega} \Rightarrow R \ll \delta$$

2.4.4  $\delta = 5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ . L'approximation faite n'est pas satisfaisante  $\otimes$  (?)

$$2.5.1 P_j = K \cdot S_o^2 \Rightarrow P'_j = n \frac{P_j}{n^2} = \frac{P_j}{n}$$

2.5.2 C'est dans ce but que l'on utilise des matériaux feuilletés.

2.6 En charge,  $\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = n_1 \cdot i_1 + n_2 \cdot i_2$  et à vide  $\oint \vec{H}_v \cdot d\vec{l} = n_1 \cdot i_{1v}$ . La résistance des enroulements étant faible, ainsi que les fuites, le champ B est pratiquement le même dans le matériau, à vide comme en charge. H est donc aussi le même. Le cycle d'hystérésis est donc semblable, et donc les pertes par hystérésis sont identiques. B étant le même, le champ électromoteur est le même et les pertes par courants de Foucault sont identiques. A vide, la faiblesse du courant donne des pertes Joule négligeables devant les pertes fer : elles sont donc correctement mesurées à vide par la puissance consommée.

### Troisième partie :

3.1  $E_p = \frac{1}{2} L_1 i_1^2 + \frac{1}{2} L_2 i_2^2 + M i_1 \cdot i_2$ . En notant  $B_1$  (resp.  $B_2$ ) le champ créé par le circuit 1 seul (resp. 2) :

$E_{p1} = \frac{1}{2} L_1 i_1^2 = \frac{1}{2\mu_o} \iiint B_1^2 \cdot d\tau$ , de même pour 2. L'énergie potentielle de la distribution de courant s'écrit

$$E_p = \frac{1}{2\mu_o} \iiint (B_1 + B_2)^2 \cdot d\tau = E_{p1} + E_{p2} + \frac{1}{\mu_o} \iiint B_1 \cdot B_2 \cdot d\tau \text{ soit } M = \frac{1}{\mu_o} \iiint \frac{B_1 \cdot B_2}{i_1 \cdot i_2} \cdot d\tau.$$

Le terme  $A = \frac{1}{\mu_o} \iiint \left( \frac{B_1}{i_1} + a \cdot \frac{B_2}{i_2} \right)^2 \cdot d\tau$  (où a est un réel quelconque) est positif (somme de termes tous positifs). En

développant :  $A = \frac{1}{\mu_o} \iiint \left( \frac{B_1}{i_1} \right)^2 \cdot d\tau + \frac{a^2}{\mu_o} \iiint \left( \frac{B_2}{i_2} \right)^2 \cdot d\tau + \frac{2a}{\mu_o} \iiint \frac{B_1 \cdot B_2}{i_1 \cdot i_2} \cdot d\tau$  soit  $L_1 + a^2 L_2 + 2a \cdot M \geq 0$ . Cette

condition n'est vérifiée que si l'annulation se produit au plus une fois soit  $\Delta = 4(M^2 - L_1 L_2) \leq 0 \Rightarrow M^2 < L_1 L_2$ .

3.2.1 Le spectre présente deux raies

3.2.2 Si M augmente, les deux raies s'écartent.

3.2.3 Le spectre ne présente qu'une raie si l'on a excité un mode propre avec des conditions initiales particulières.

$$3.2.4.1 \quad v_1 - e + L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt} = 0 \quad \text{et} \quad v_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt} = 0.$$

3.2.4.2 En posant  $u = v_1 + v_2$  et  $v = v_1 - v_2$  il vient avec  $e=0$  :  $u + (L + M) \cdot C \frac{d^2 u}{dt^2} = 0$  et  $v + (L - M) \cdot C \frac{d^2 v}{dt^2} = 0$  soit

$$v_1 = a \cdot \cos(\Omega_1 t) + b \cdot \sin(\Omega_1 t) + c \cdot \cos(\Omega_2 t) + d \cdot \sin(\Omega_2 t) \quad \text{et}$$

$$v_2 = a \cdot \cos(\Omega_1 t) + b \cdot \sin(\Omega_1 t) - c \cdot \cos(\Omega_2 t) - d \cdot \sin(\Omega_2 t) \quad \text{avec} \quad \Omega_1 = \sqrt{\frac{1}{C(L+M)}}, \quad \Omega_2 = \sqrt{\frac{1}{C(L-M)}}.$$

3.2.5.1 Les conditions initiales donnent :  $v_o = a + c$ ,  $0 = a - c$  soit  $a = c = \frac{v_o}{2}$  et

$b \cdot \Omega_1 + d \cdot \Omega_2 = 0$ ,  $b \cdot \Omega_1 - d \cdot \Omega_2 = 0$  soit  $b=d=0$ . Ainsi

$$v_1 = \frac{v_o}{2} (\cos(\Omega_1 t) + \cos(\Omega_2 t)), \quad v_2 = \frac{v_o}{2} (\cos(\Omega_1 t) - \cos(\Omega_2 t)).$$

3.2.5.2.a  $M \ll L$ . Les pulsations se simplifient selon  $\Omega_1 \approx \Omega_o \cdot \left(1 - \frac{M}{2L}\right)$  et  $\Omega_2 \approx \Omega_o \cdot \left(1 + \frac{M}{2L}\right)$  avec  $\Omega_o = \sqrt{\frac{1}{LC}}$ .

Ainsi  $v_1(t) = v_o \cdot \cos\left(\frac{M}{2L} \Omega_o t\right) \cdot \cos(\Omega_o t)$  et  $v_2(t) = v_o \cdot \cos\left(\frac{M}{2L} \Omega_o t\right) \cdot \sin(\Omega_o t)$ .

3.2.5.2.b On observerait en plus un amortissement au cours du temps.

**3.3** En régime permanent, les tensions cherchées sont sinusoïdales de même pulsation. En notation complexe, on aura  $\underline{v}_1(t) = \underline{V}_1 \cdot \exp(j\omega t)$ ,  $\underline{v}_2(t) = \underline{V}_2 \cdot \exp(j\omega t)$ . En reportant :  $\underline{V}_1 \cdot (1 - LC\omega^2) - \underline{V}_2 \cdot MC\omega^2 = E$  et  $-\underline{V}_1 \cdot MC\omega^2 + \underline{V}_2 \cdot (1 - LC\omega^2) = 0$ ,

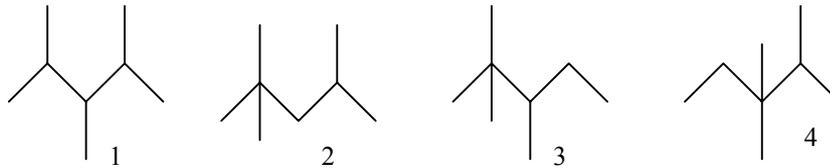
$$\text{soit } \underline{V}_1 = E \frac{1 - LC\omega^2}{(1 - LC\omega^2)^2 - (MC\omega^2)^2} \text{ et } \underline{V}_2 = E \frac{MC\omega^2}{(1 - LC\omega^2)^2 - (MC\omega^2)^2}.$$

### Chimie :

**Q1** Octane  $C_8H_{18}$

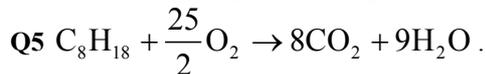
**Q2** 2,2,4-triméthylpentane.

**Q3** Il y a quatre isomères satisfaisant aux conditions données :



Le 3 a un carbone asymétrique.

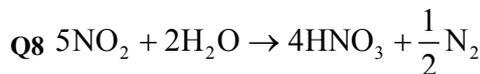
**Q4** Source + filtre + polariseur + polarimètre de Laurent, ou **Q4** Source + filtre + 2 polariseurs.



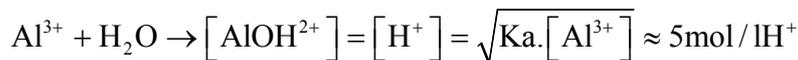
**Q6** 1% de 1l d'octane contient N moles d'octane, et donne 8N moles de carbone. La masse d'un litre est de 692g, soit avec une masse molaire de 114g/mol,  $N=0,0607\text{mol}$  et  $m(\text{suie})=8N \cdot M(C)$  donne  $m(\text{suie})=5,83\text{g/l}$  consommé.

**Q7** L'azote est porteur d'un électron célibataire, ce qui lui confère ses propriétés paramagnétiques.

$$K = 6,25 \cdot 10^{-6} \frac{P_{NO}^2}{P_{N_2} \cdot P_{O_2}} \Delta_r S^\circ = 24,76 \text{ J/K/mol} \frac{d(\ln K)}{dT} = \frac{\Delta_r H^\circ}{RT^2} > 0$$

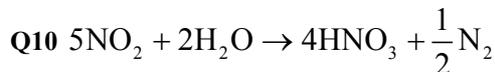


$$K = \frac{P_{NO}^2}{P_{N_2} \cdot P_{O_2}},$$



$\Delta_r H^\circ = 180,58 \cdot 10^3 \text{ J/mol}$  et  $\Delta_r S^\circ = 24,76 \text{ J/K/mol}$ . La constante d'équilibre pour 0,1% est  $K = 6,25 \cdot 10^{-6}$ , ce qui donne  $T=1452\text{K}$ .

**Q9** L'équilibre est indépendant de la pression puisque le nombre de moles de gaz est identique pour les réactifs et produits. C'est un problème de cinétique qui intervient.



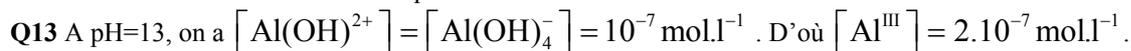
**Q11**  $Al^{3+} + H_2O \rightarrow AlOH^{2+} + H^+$  Avec  $[Al^{3+}] \approx 5 \text{ mol/l}$ , la RP donne  $[AlOH^{2+}] = [H^+]$  et donc

$$[H^+] = \sqrt{K_a \cdot [Al^{3+}]} \text{ et } \text{pH}=2,15.$$

**Q12**  $\log(5)=0,7$ . On lit sur le graphe un pH de début de précipitation de 3 environ.

La précipitation est totale (?) lorsque les concentrations en espèces dissoutes sont minimales, c'est à dire à  $\text{pH}=6$ .

La fin de dissolution est obtenue lorsque



**Q14** On utilise x moles de  $Al_2O_3$ , y moles de  $Al_2Si_2O_7$ , et 2 moles de  $Mg_3Si_4O_{11}$  pour 3 moles de cordiérite. En moles, on a pour l'aluminium,  $12=2(x+y)$ , pour le silicium  $15=8+2y$  soit  $y=3,5$  et  $x=2,5$ . On vérifie la cohérence pour l'oxygène. Les pourcentages molaires sont 31%  $Al_2O_3$ , 44%  $Al_2Si_2O_7$ , 25%  $Mg_3Si_4O_{11}$ .

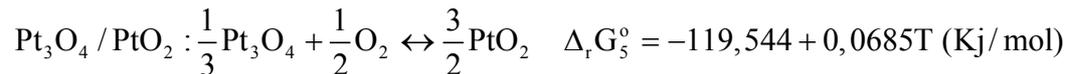
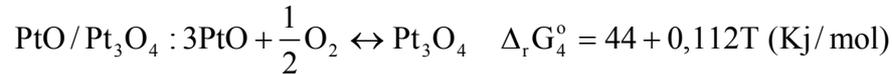
**Q15** Maille cubique centrée : coordinence 8. Compacité non maximale car coordinence max. 12.

**Q16** Pour 1Kg d'alliage, la masse de fer est 748g, soit 13,39mol. De même, pour le chrome, 200g soit 3,85mol et pour l'aluminium 52g soit 1,93mol. La formule 'brute' est donc  $Fe_7Cr_2Al$ . Il y a deux atomes par maille, ce qui donne une masse volumique de  $7,4g.cm^{-3}$ .

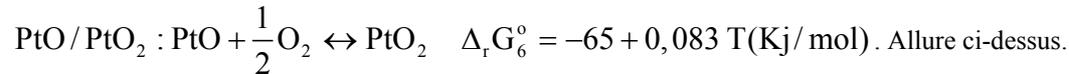
**Q17** A : fer C alliage avec passivation B impossible

**Q18**  $Pt = [Xe]5s^2 4d^{10} 5p^6 4f^{14} 6s^2 5d^8$  (en fait en  $6s^1 5d^9$ ).

**Q19** On établit le diagramme d'Ellingham pour  $\frac{1}{2}$  mole d'oxygène :



Le tracé montre que  $Pt_3O_4$  n'est pas stable. Il faut donc étudier  $Pt/PtO$  et  $PtO/PtO_2$ .



On superpose au graphique  $RT/2 \cdot \ln(P(O_2))=0$ , et on obtient la stabilité de  $PtO$  entre les points A et B du graphique, soit entre les températures 783K et 850K

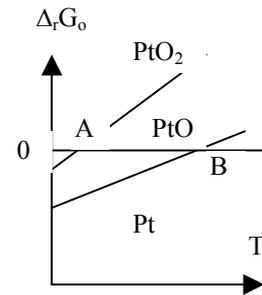
A température ordinaire, c'est  $PtO_2$  qui est stable.

Aucun oxyde de platine n'est stable au delà de B, soit si  $T > 850K$ , ce qui indique qu'il est inefficace au démarrage.

**Q20** faux : 1 4 6 vrai 2 3 5

**Q21** réaction  $2NO \leftrightarrow N_2 + O_2$   $K(873K) = 3,08 \cdot 10^{-10}$  avec  $K = \frac{P(N_2) \cdot P(O_2)}{P(NO)^2}$ . Ainsi

$$P(NO) = \sqrt{K \cdot P(N_2) \cdot P(O_2)} \Rightarrow P(NO) = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ bar} .$$



Fin du problème.