

- Mines 1^{ère} année -
Epreuve commune Physique et Chimie

Partie A : caractéristiques d'une bobine réelle

Etude du générateur :

A-1. La lecture du graphe donne :

$$E = 9 \text{ V} \quad R_i = 50 \text{ W} \quad I_{cc} = E / R_i = 0,18 \text{ A}$$

A-2. Il faut que le point de fonctionnement soit dans le domaine :

$$I < 0,1 \text{ A} \text{ et } U > 4 \text{ V} \Rightarrow R = U/I > 40 \text{ W}$$

Etude du bobinage :

A-3. On a : $R = r L / s = L / s.s$, soit : $L = R.s.s = 474 \text{ m}$.

$$A-4. I = \frac{E_0}{Z_{\text{eq}}} = \frac{E_0}{R + jL\omega + 1/jC\omega} = \frac{E_0}{R + j(L\omega - 1/C\omega)}$$

$$I_0 = \frac{E_0}{\sqrt{R^2 + (L\omega - 1/C\omega)^2}}$$

I_0 est maximal pour : $\omega = \omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ et $I_{0,max} = E_0 / R$.

A-5. I_0 est en phase avec E_0 pour la même pulsation ω_0 . La résistance de la bobine modifie seulement le courant maximal, mais pas la pulsation de résonance.

A-6. Le circuit de la fig.2 imposeraient des masses GBF et oscilloscope non communes, ce qui créerait un court-circuit. Il suffit de placer GBF et résistor en série :

A-7. On repère le déphasage nul en se plaçant en mode XY ou Lissajoux.

$$A-8. L = 1/C\omega_0^2 = 90,0 \text{ mH}$$

Comportement électrocinétique du bobinage à basse fréquence :

A-9. La valeur efficace est la valeur de la grandeur continue qui produirait le

même effet joule dans un résistor.

$$Z = V_A / I \text{ et } I = V_B / R, \text{ d'où : } Z = R \cdot V_A / V_B$$

R sert à mesurer le courant.

A-10. $Z^2 = R^2 + L^2 4 p^2 f^2$, on peut donc chercher à représenter Z^2 en fonction de f^2 , graphe qui doit donner une droite.

f(Hz)	10	20	30	40	50	60	70	80
Z(W)	9,2	13,8	19,2	23,9	29,4	33,8	40,0	45,6
f ²	100	400	900	1600	2500	3600	4900	6400
Z ²	85	190	369	571	864	1142	1600	2079

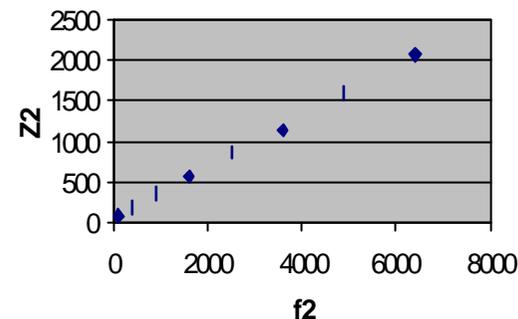
La représentation est celle d'une droite affine passant quasiment par l'origine ; d'où :

$$r \gg 0 \text{ et } L \gg Z/2 \text{ p } f = 90,7 \text{ mH}$$

Une régression linéaire donne plus précisément :

$$Z^2 = 65,9 + 0,312 f^2, \text{ d'où :}$$

$$r \gg 8,1 \text{ W} \quad L \gg 88,9 \text{ mH}$$



A-12. L'approximation $r \gg 0$ est valable dès que :

$$R_{\text{tot}} > 100 \text{ W} \text{ ou } f > 50 \text{ Hz}$$

Partie B : mouvements de particules chargées

Action d'un champ électrostatique :

B-1. D'après le TEC : $D (\frac{1}{2} m v^2) = q U > 0$

B-2.

$\frac{1}{2}U\frac{1}{2}$	1 V	1 kV	1 MV
$v (m.s^{-1})$	$5,9.10^5$	$1,9.10^7$	$5,9.10^8$: impossible > c !

$$B-3. V = \frac{Q}{4\pi \epsilon_0 r} ; E_p = qV = \frac{qQ}{4\pi \epsilon_0 r}$$

B-4-5. K est minimale pour une trajectoire rectiligne dirigée sur la cible, la vitesse est alors nulle au point de rebroussement. D'où : $K_0 = E_p = 1,44 \text{ MeV}$.

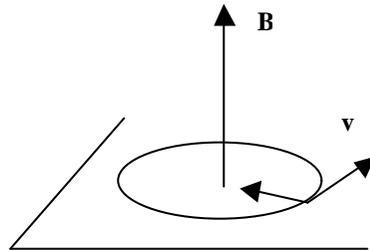
Action d'un champ magnétique :

B-6. On a : $P = mg < 10^{-24} \text{ N}$, $F_L = qvB > 10^{-17} \text{ N}$, et donc : $F_L \gg P$.

B-7. TEC : $D(\frac{1}{2} m v^2) = W(F_L) = 0 \Rightarrow v = C^{te} = v_0$.

$$\text{PFD : } m \frac{d\vec{v}}{dt} = q \vec{v} \wedge \vec{B} \Leftrightarrow \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{\omega} \wedge \vec{v} \text{ avec } \vec{\omega} = -\frac{q\vec{B}}{m}$$

Cette relation montre que \vec{v} est un vecteur de norme constante, tournant à la vitesse angulaire constante $\vec{\omega}$ autour de \vec{B} ; la vitesse initiale étant normale à \vec{B} , elle le reste au cours du mouvement. La trajectoire est donc plane.



B-8. Dans Frénet : $m \frac{v^2}{R_C} = |q| v B$

$$\Rightarrow R_C = \frac{m v_0}{|q| B} = C^{te}$$

B-9. A.N. $v = 7.10^6 \text{ m.s}^{-1}$. Oui.

B-10. La composante v_1 de vitesse parallèle à \vec{B} crée une dérive selon \vec{B} de vitesse constante; le mouvement orthogonal n'est pas affecté. Le mouvement résultant est hélicoïdal d'axe \vec{B} .

Générateur magnétohydrodynamique :

B-11. Effet similaire à l'effet Hall : les armatures se chargent, créent un champ électrique, puis une force électrique sur les particules qui arrive à compenser la force magnétique : la trajectoire des particules est alors rectiligne uniforme et les charges des armatures sont constantes (régime permanent).

B-12-13. $\vec{E} = \vec{B} \vec{U} \vec{v}$ $E = 1000 \text{ V.m}^{-1}$ $V_{A1} - V_{A2} = 100 \text{ kV}$.

Partie C: rendement d'une turbine à gaz

Ordre de grandeur :

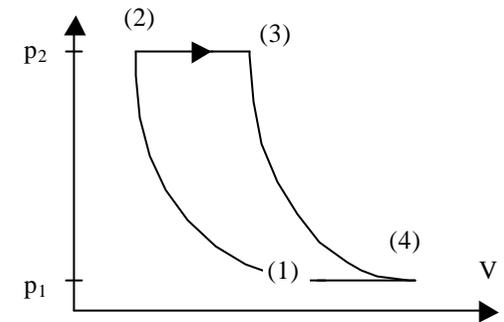
C-1. $h = \frac{P_u}{\dot{Q}} \Rightarrow \dot{Q} = 2 \text{ MW} \Rightarrow Q = 7200 \text{ MJ/h}$ d'où : $m_{\text{fuel}} = Q/q = 180 \text{ kg/h}$

$m_{\text{CO2}} = 540 \text{ kg/h}$

Cycle de Brayton :

C-2. Pas d'échanges de chaleur : parois calorifugées ou transformations rapides.

C-4. $c_p = \frac{g R}{(g-1)M} = 1083 \text{ J.kg}^{-1}$



C-5. Les adiabatiques réversibles obéissent aux lois de Laplace :

$$T_2 = T_1 (p_2/p_1)^{1-g} \quad T_4 = T_3 / (p_2/p_1)^{1-g} = T_3/x$$

C-6. Le premier principe appliqué au cycle donne : $\mathcal{D}U_{\text{cycle}} = w + q_{\text{cycle}} = 0 \Rightarrow -w = q_{12} + q_{23} + q_{34} + q_{41}$

Soit : $-w = 0 + c_p (T_3 - T_2) + 0 + c_p (T_1 - T_4) = c_p [T_1(1-x) + T_3(1-1/x)]$

C-7. $d(-w)/dx = 0$ pour : $x = \sqrt{T_3/T_1} = 1,816$

C-8. On trouve : $p_2 = p_1 x^{g/(g-1)} = 9,53 \text{ bar}$

$$T_2 = x T_1 = 523 \text{ K} \quad T_4 = T_3/x = T_2 = 523 \text{ K}$$

C-9. $q_{23} = c_p (T_3 - T_2) = 462 \text{ kJ.kg}^{-1}$ $q_{41} = c_p (T_1 - T_4) = -254,5 \text{ kJ.kg}^{-1}$

$$-w = 207,5 \text{ kJ.kg}^{-1} \quad h = -w/q_{23} = 45 \%$$

C-10. $P = 1 \text{ MW}$ $\dot{P} q_{23} = 2,23 \text{ MW} = 8015 \text{ MJ/h}$

$\dot{P} m_{\text{fuel}} = q_{23}/q = 200 \text{ kg/h}$ $m_{\text{CO2}} = 600 \text{ kg/h}$

C-11. L'augmentation du rendement nécessite aussi les augmentations de x et donc p_2, T_2 ; alors T_2 est plus proche de T_3 , le cycle s'allonge en se rétrécissant, et les échanges par cycle sont moins importants ($-w$ diminue), ce qui entraîne à puissance égale de la machine une plus grande vitesse de rotation.

C-12. Le rendement réel est inférieur par irréversibilité des adiabatiques.

Cycle avec échangeur :

C-13. $h' = -w' / q'_{23}$.

C-14. Le rendement est maximal pour $x' = 1,25$, ce qui est assez loin du maximum de $-w'$; le cycle est alors plus petit avec les conclusions précédentes.

C-15. A puissance fixée, les consommations sont inversement proportionnelles au rendement et donc :

pour $h'_{max} = 52\%$ gain = $(1/h - 1/h') / (1/h) = 1$ $h/h' = 13,5\%$.

Partie D : autour de l'élément carbone

Chimie structurale :

D-1. Structure électronique de C : $Z = 6 : 1s^2 2s^2 2p^2$

Règle de Hund : sur une orbitale (n, l) de niveau d'énergie donné, on occupe le maximum d'états de nombres quantiques magnétiques différents, spins parallèles.

Le spin, par le moment magnétique associé, participe aux interactions magnétiques, soit avec un champ magnétique extérieur (effet Zeemann), soit par interactions spin-spin (ferromagnétisme).

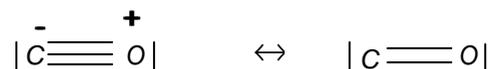
D-2. Le carbone et le silicium ont même structure électronique externe.

Si est le semi-conducteur de base.

D-3. C'est la règle de l'octet ; ex : Cl dans H—Cl, O dans H—O—H entourés de 8 électrons externes.

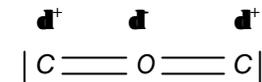
D-4. L'environnement de C est tétraédrique. Ex : CH₄.

D-5. CO : $4 + 6 = 10$ électrons de valence \leftrightarrow 5 doublets ,



La 2^{ème} forme ne respecte pas la règle de l'octet, la 1^{ère} rend compte de la polarité réelle bien qu'elle soit en désaccord avec l'électronégativité des éléments.

CO₂ : $2 \times 4 + 6 = 10$ électrons de valence \leftrightarrow 5 doublets ,



D-6. L'électronégativité d'un élément est sa capacité à attirer les électrons. La différence d'électronégativité entre éléments induit la polarisation des liaisons ou la formations des ions.

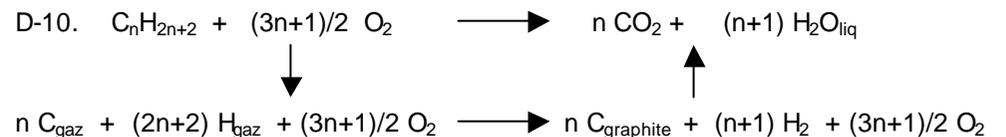
D-7. CO₂ est non polaire par symétrie ; les liaisons C—O ont des polarités opposées dans les deux types de molécules.

Combustion des alcanes :

D-8. Cf cours.

D-9. $C_n H_{2n+2} \rightarrow n C_{gaz} + (2n+2) H_{gaz}$:

$$\Delta_{at} H^\circ = (n-1) \Delta_{liais} H^\circ (C-C) + (2n+2) \Delta_{liais} H^\circ (C-H)$$



$$\Delta_r H^\circ = \Delta_{at} H^\circ - n \Delta_f H^\circ (C_{gaz}) - (n+1) \Delta_{liais} H^\circ (H-H) + n \Delta_f H^\circ (CO_2) + (n+1) \Delta_f H^\circ (H_2 O_{liq})$$

$$\Delta_r H^\circ = (n-1) \Delta_{liais} H^\circ (C-C) + (2n+2) \Delta_{liais} H^\circ (C-H) - n \Delta_f H^\circ (C_{gaz}) - (n+1) \Delta_{liais} H^\circ (H-H) + n \Delta_f H^\circ (CO_2) + (n+1) \Delta_f H^\circ (H_2 O_{liq})$$

$$\Delta_r H^\circ = - (574 n + 245) \text{ kJ.mol}^{-1}$$

D-11. $E_{lib} = -\Delta_r H^\circ > 0$; $q(n) = E_{lib} / M = (574 n + 245) / (14 n + 2) \text{ MJ.kg}^{-1}$.

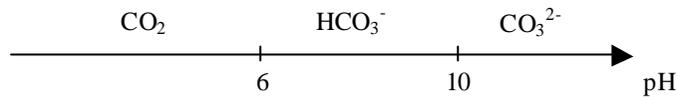
D-12. $q(1) = 51,2 \text{ MJ.kg}^{-1}$ $q(3) = 44,7 \text{ MJ.kg}^{-1}$ $q(4) = 43,8 \text{ MJ.kg}^{-1}$:
 $q(n)$ décroît légèrement.

D-13. $E = 4,2 \cdot (100 - 20) = 336 \text{ kJ/kg d'eau}$, or : $N(CO_2) = n \cdot E / (-\Delta_r H^\circ)$.

On obtient : CH₄ : 0,41 C₃H₈ : 0,51 C₄H₁₀ : 0,53 mol de CO₂

D-14. Le méthane est le combustible au plus fort pouvoir calorifique et d'émission de CO₂ le plus faible.

Acido-basicité :



D-15.

D-16. $K_{A2} = \frac{[CO_3^{2-}][H_3O^+]}{[HCO_3^-]}$, $[HCO_3^-] = 6,65 \text{ mmol.L}^{-1}$

et $[H_3O^+] = 10^{-7} \text{ mol.L}^{-1} \Rightarrow [CO_3^{2-}] = 6,65 \cdot 10^{-3} \text{ mmol.L}^{-1} = \underline{0,4 \text{ mg.L}^{-1}}$: négligeable.

D-17. L'ion hydrogencarbonate est acide et base, c'est un ampholyte .

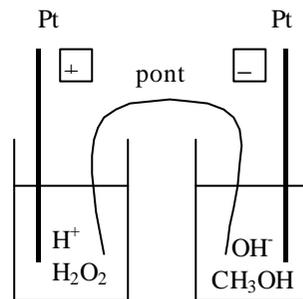
Oxydo-réduction :

D-18. $CH_3OH + 8 OH^- \rightarrow CO_3^{2-} + 6 H_2O + 6 e^-$
en milieu basique.

$Q = I \cdot \Delta t = 3600 \text{ C} \Rightarrow n_e = 3600 / (N_A \cdot e) = 37,3$
mmol d'électron

$\Rightarrow m_{CH_3OH} = (n_e / 6) \cdot M_{CH_3OH} = 0,2 \text{ g.}$

En milieu acide il y aurait formation de CO₂ , à éviter !



D-20. $H_2O_2 + 2 H^+ + 2 e^- \rightarrow 2 H_2O$: réduction à la cathode.

$E_2 = 1,78 - 0,06 \text{ pH} + 0,03 \log [H_2O_2]$

$CH_3OH + 2 H_2O \rightarrow CO_3^{2-} + 8 H^+ + 6 e^-$: oxydation à l'anode.

$E_1 = 0,18 - 0,08 \text{ pH} + 0,01 \log ([CO_3^{2-}] / [CH_3OH])$

La pile formée a un fonctionnement générateur vu que : $E_2 > E_1$.

D-21. $CH_3OH + 3 H_2O_2 \rightarrow CO_3^{2-} + 4 H_2O + 2 H^+$ en milieu acide. (a)

$CH_3OH + 3 H_2O_2 + 2 OH^- \rightarrow CO_3^{2-} + 6 H_2O$ en milieu basique. (b)

La réaction consomme des ions OH⁻ et sera donc favorisée en milieu basique.

$K_{(b)} = 10^{\frac{6}{0,06}(E'_2 - E'_1)}$ avec $E'_2 = E^\circ_2 (\text{pH}=14) = 0,94 \text{ V}$
 $E'_1 = E^\circ_1 (\text{pH}=14) = -0,94 \text{ V}$ $K_{(b)} = 10^{188} \gg 1$