

**NB : Seuls les résultats mis en évidence seront pris en compte**

### THERMODYNAMIQUE 1

Une mole de dioxygène, considéré comme un gaz parfait diatomique ( $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = 1,4$ ) se trouve à la pression  $p = 2,0$  bar et à la température  $T = 280$  K dans une enceinte calorifugée munie d'un piston mobile, calorifugé et de masse négligeable bloqué grace à une cale. On lui fait subir une brusque détente dans l'air atmosphérique de pression supposée constante  $p_0 = 1,0$  bar en supprimant la cale qui maintenait le piston.

1) Par quel(s) qualificatif(s), parmi les suivants, peut-on qualifier la transformation que subit le dioxygène ? On justifiera la réponse.

Réversible ; irréversible ; isotherme ; adiabatique ; isobare ; isochore ; monobare.

2) Déterminer la température  $T$  atteinte par le gaz à la fin de la détente. Faire l'application numérique.

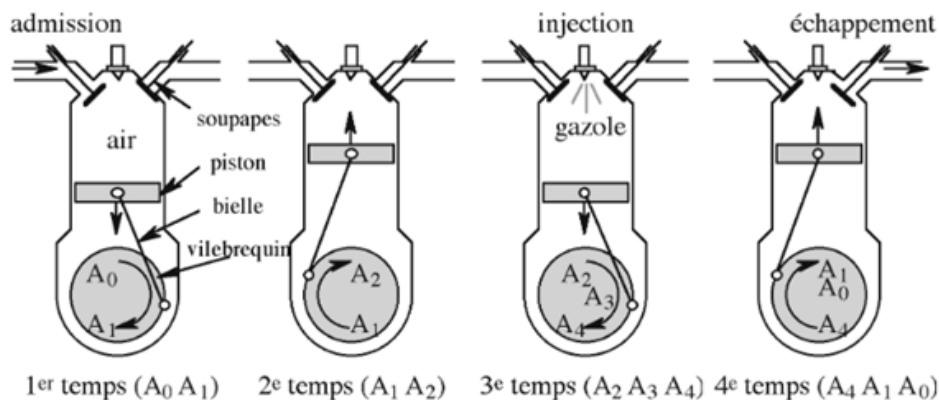
3) Exprimer l'entropie créée lors de cette transformation. Faire l'application numérique.

Données : constante des gaz parfait  $R = 8,314 \text{ J.mol}^{-1}.K^{-1}$ . On rappelle également que :  $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$ .

### THERMODYNAMIQUE 2

Le moteur d'un véhicule automobile au gazole est un moteur atmosphérique qui fonctionne par autoallumage (sans bougie) du carburant. Le fonctionnement de ce moteur est décomposé ci-dessous :

- 1<sup>er</sup> temps : il s'agit de l'admission de l'air ( $A_0A_1$ ) dans le cylindre à pression constante (pression atmosphérique). Le piston, entraîné par le vilebrequin descend en aspirant l'air à pression constante.
- 2<sup>e</sup> temps : le cylindre étant fermé, la compression adiabatique et réversible ( $A_1A_2$ ) de l'air est réalisée grace à la remontée du piston.
- 3<sup>e</sup> temps : la détente ( $A_2A_3A_4$ ), que l'on décomposera en deux parties dans le cycle thermodynamique (voir ci-dessous), constitue le temps moteur où la combustion se produit à pression sensiblement constante ( $A_2A_3$ ) et où les gaz se détendent ensuite de façon adiabatique et réversible, entraînant le piston vers le bas en entraînant le vilebrequin.
- 4<sup>e</sup> temps : l'échappement ( $A_4A_1A_0$ ). Le système thermodynamique constitué par les gaz brûlés est ramené à la pression initiale ( $A_4A_1$ ). Les gaz sont ensuite refoulés par la remontée du piston.



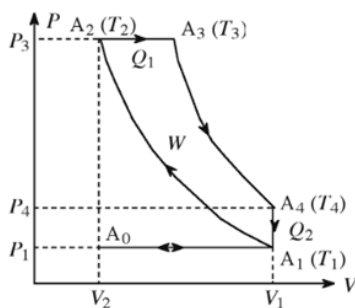
On considèrera que toutes les étapes sont réversibles. On considère également que :

- l'air est assimilé à un gaz parfait de masse molaire  $M = 29 \text{ g.mol}^{-1}$ , caractérisé par  $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = 1,4$
- la quantité de carburant injectée est faible devant la quantité d'air et la combustion ne modifie pas cette quantité d'air, autrement dit que le gaz circulant dans ce moteur sera considéré comme un système fermé constitué d'une même quantité d'air tout au long du cycle.

1) **Etude générale du cycle :**

En début de compression (point  $A_1$ ), l'air est admis dans le moteur à la pression  $p_1=1$  bar et à la température  $T_1=293$  K. Le taux de compression (rapport volumétrique  $\frac{V_1}{V_2}$ ) est  $a=15$  et le taux de détente (rapport volumétrique  $\frac{V_1}{V_3}$ ) est  $b=5$ . On en déduit que  $\frac{V_3}{V_2} = 3$ .

- Déterminer puis calculer la pression  $p_2$  et la température  $T_2$  en fin de compression. (point  $A_2$ )
- Déterminer puis calculer les températures  $T_3$  et  $T_4$  en début et fin de détente (points  $A_3$  et  $A_4$ ) ainsi que la pression  $p_4$ .
- Déterminer puis calculer les transferts thermiques molaires, (c'est-à-dire calculés pour une mole de gaz),  $Q_{1,m}$  et  $Q_{2,m}$  échangés entre une mole de gaz constituant le système thermodynamique et le milieu extérieur lors des transformations ( $A_2A_3$ ) pour  $Q_{1,m}$  et ( $A_4A_1$ ) pour  $Q_{2,m}$ .
- Déterminer puis calculer le travail molaire  $W_{T,m}$  échangé par une mole de ce système lors d'un cycle ( $A_1A_2A_3A_4A_1$ ).
- Déterminer puis calculer  $r_{moteur}$  le rendement de ce moteur.



## 2) Etude de la combustion :

- La cylindrée du moteur (volume total maximal des cylindres du moteur) est  $V_1=2$  L. Déterminer le nombre de moles d'air impliqué dans chaque cycle et en déduire le transfert thermique  $Q_1$  échangé par le système thermodynamique pendant la phase de combustion ( $A_2A_3$ ). Faire l'application numérique.
- Le transfert thermique obtenu par la combustion d'un kilogramme de carburant est  $q=46,8 \cdot 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ . En déduire la masse de carburant,  $m_{carburant}$ , utilisée à chaque cycle. Faire l'application numérique.
- A une vitesse  $v=130 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , le vilebrequin tourne à  $3000 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$ . Sachant qu'un cycle correspond à deux aller-retour du piston, c'est-à-dire deux tours de vilebrequin, déterminer la durée  $\tau$  d'un cycle et la distance  $d$  parcourue par le véhicule pendant ce cycle. Faire l'application numérique.
- En déduire la consommation de carburant  $c$  en litres aux 100 km de ce véhicule à cette vitesse. La masse volumique du carburant (gazole) est  $\rho = 0,8 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$ .

Données : constante des gaz parfait  $R=8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .

## CHIMIE

On considère la pile schématisée par :  $\text{Cu} / \text{Cu}^{2+} // \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+} / \text{Pt}$ . Avant toute utilisation, les concentrations initiales sont toutes égales :  $[\text{Cu}^{2+}]_0 = [\text{Fe}^{2+}]_0 = [\text{Fe}^{3+}]_0 = 0,10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . La température de travail est de  $25^\circ \text{C}$ .

- Donner l'expression du potentiel d'électrode de chacune des électrodes. Faire l'application numérique. En déduire la polarité de la pile et sa force électromotrice initiale,  $E$ .
- Ecrire l'équation de la réaction de fonctionnement de cette pile. Exprimer puis calculer la constante de réaction correspondante,  $K_{eq}$ . Commenter la valeur trouvée.
- Les métaux  $\text{Cu}$  et  $\text{Pt}$  étant présents en net excès dans chacune des demi-piles, déterminer la composition de la pile lorsqu'elle ne débite plus dans le cas où le volume de chacun des compartiments est  $V=25,0 \text{ mL}$ . On note : la quantité de matière finale d'ions  $\text{Cu}^{2+}$  :  $n_{final \text{ Cu}^{2+}}$ ; la quantité de matière finale d'ions  $\text{Fe}^{2+}$  :  $n_{final \text{ Fe}^{2+}}$ ; la quantité de matière finale d'ions  $\text{Fe}^{3+}$  :  $n_{final \text{ Fe}^{3+}}$ .

Données :  $E^\circ(\text{Cu}^{2+} / \text{Cu})=0,34 \text{ V}$  ;  $E^\circ(\text{Fe}^{3+} / \text{Fe}^{2+})=0,77 \text{ V}$ .

# ELECTROMAGNETISME

Le problème est constitué de deux parties indépendantes traitant des applications de l'induction électromagnétique.

Données : perméabilité magnétique du vide :  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$  ;

## 1° PARTIE : La pince ampèremétrique

La pince ampèremétrique est un dispositif destiné à la mesure de courants élevés dont les intensités sont de l'ordre du kA. (voir figure 1)

L'ouverture de la pince ampèremétrique permet d'insérer dans sa boucle le fil parcouru par le courant dont l'intensité est à mesurer.

Lorsque la pince est fermée, ses deux mâchoires constituent une bobine. Le phénomène d'induction magnétique permet d'obtenir aux bornes de cette bobine une tension directement liée à l'intensité à mesurer.



Figure 1

### I) Principe de fonctionnement

Le courant dont l'intensité **variable**  $i_1(t)$  est à mesurer parcourt un fil rectiligne (1), confondu avec l'axe  $OZ$ , dont les bornes  $A_1$  et  $A_2$  sont supposées infiniment éloignées l'une de l'autre (fil infini). Le champ magnétique  $\vec{B}_1$  créé par le fil (1) en tout point M de l'espace en dehors du fil est donné par  $\vec{B}_1 = \frac{\mu_0 i_1(t)}{2\pi r} \vec{e}_\theta$ . Le point M est repéré par ses coordonnées cylindriques  $(r, \theta, z)$ , cf. Figure 2.

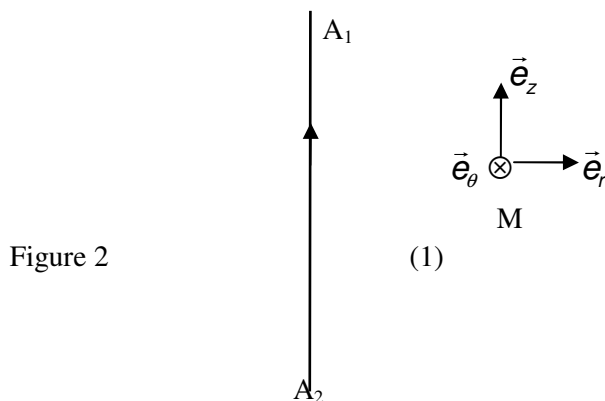


Figure 2

La pince ampèremétrique est modélisée par une bobine (2) constituée d'un fil enroulé sur un tore d'axe  $OZ$ , de rayon moyen  $r_0 = 5 \text{ cm}$  et de section carrée de côté  $a = 1 \text{ cm}$ . Le tore est constitué d'un matériau non magnétique, c'est-à-dire dont les propriétés magnétiques sont celles du vide. L'enroulement comporte  $N=1000$  spires jointives et régulièrement réparties, cf. Figures 3 et 4. Ses extrémités sont reliées à un oscilloscope.

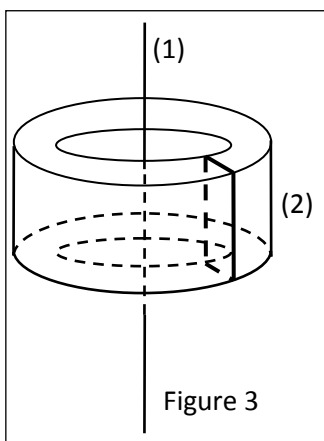


Figure 3

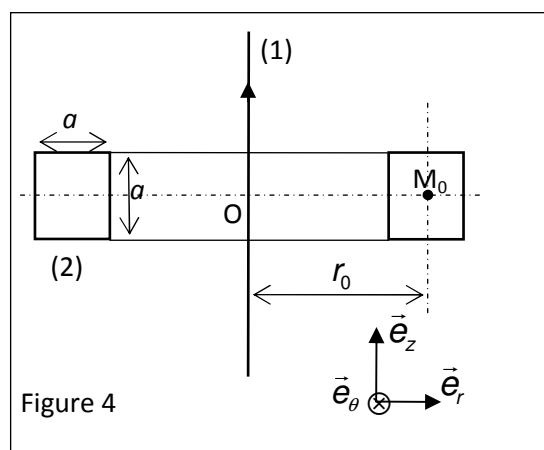


Figure 4

1) Exprimer le flux du champ  $\vec{B}_1(M_0, t) = \vec{B}_1(r_0, t)$  à travers une spire de la bobine **orientée par sa normale  $\vec{e}_\theta$** , en supposant le **champ magnétique uniforme sur la surface de la spire et égal à sa valeur en  $M_0$** . En déduire l'expression du flux  $\Phi$  du champ magnétique créé par le fil (1) à travers la bobine (2).

2) Exprimer le coefficient d'induction mutuelle  $M_{12}$ .

3) Etablir à partir du flux  $\Phi$ , déterminé à la question 1), l'expression de la tension  $u_2(t)$  obtenue aux bornes de la bobine (2). Quelle est sa valeur lorsque l'intensité du courant  $i_1(t)$  dans le fil (1) est constante ? Commenter.

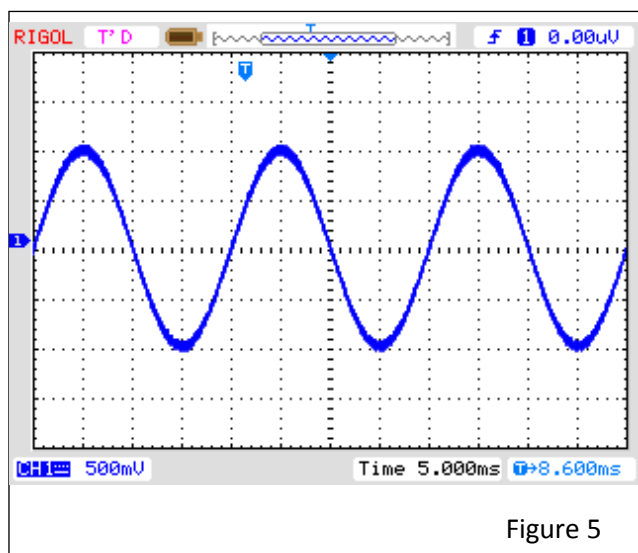
## II) Mesures

Le courant dans le fil (1) est sinusoïdal d'intensité  $i_1(t) = I_m \cos(\omega t)$ . La bobine (2) étant reliée à un oscilloscope, l'oscillogramme obtenu est représenté ci-contre, cf. Figure 5 ; échelles : 1 carreau pour 5 ms et 1 carreau pour 500 mV.

1) Etablir l'expression de la tension  $u_2(t)$  à l'aide des paramètres  $\mu_0$ ,  $N$ ,  $a$ ,  $r_0$ ,  $\omega$  et  $I_m$ .

2) Quelle est la valeur numérique de la fréquence  $f$  du courant  $i_1(t)$  et celle l'amplitude  $U_m$  de la tension  $u_2(t)$  ?

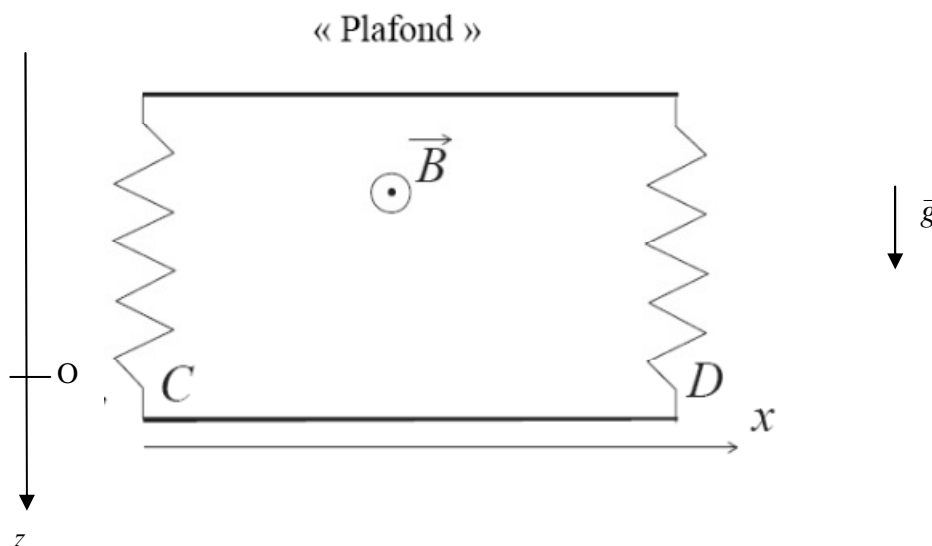
3) Quelle est la valeur numérique de l'intensité maximale  $I_m$  du courant  $i_1(t)$  ?



## 2° PARTIE : Effet d'un champ magnétique sur un conducteur en mouvement

Une tige CD de cuivre de masse  $m$  et de longueur  $L$  est suspendue par ses deux extrémités à 2 ressorts identiques de masses négligeables devant  $m$ , de constante de raideur  $k$  et de longueur à vide  $l_0$ . Un courant électrique peut circuler à travers les ressorts et le « plafond ». On note  $R$  la résistance électrique de tout le circuit et on négligera le phénomène d'induction dans les ressorts et d'auto-induction dans le circuit. On note  $g$  l'accélération de la pesanteur.

Un champ magnétique uniforme et constant est appliqué orthogonalement au plan de la figure :



- 1) Le système est au repos. Exprimer la longueur  $l_{eq}$  des ressorts dans ce cas ? **Dans la suite du problème, on place l'origine O de l'axe Oz au niveau de la tige quand elle est à l'équilibre.**

On oriente la tige de C vers D ce qui fait que la surface délimitée par la tige, les ressorts et le plafond est orientée **dans le sens du champ magnétique.**

- 2) On confère à la tige à l'instant initial une vitesse  $\frac{dz}{dt}(t=0) = V_0$  à partir de la position d'équilibre  $z(t=0) = 0$ .

Expliquer quel phénomène va se produire et quel va être le mouvement ultérieur de la tige, dessiner sur un schéma représentant le dispositif, le sens réel du courant dans la tige CD et la force qui apparaît, quand la vitesse de CD est dirigée vers le bas (vers les  $z > 0$ ).

- 3) En appelant  $l(t)$  la longueur des ressorts (comptée à partir du plafond) à l'instant t, exprimer le flux  $\Phi(t)$  du champ magnétique. En déduire la f.e.m induite  $e_{ind}$  dans la tige CD en fonction de  $B$ ,  $L$  et  $\frac{dz}{dt} = \frac{dl}{dt}$ .

- 4) Exprimer en fonction de  $B$ ,  $L$ ,  $\frac{dz}{dt}$  et  $R$ , le courant induit  $i_{ind}$  puis le vecteur force de Laplace  $\vec{F}_L$ .

- 5) En appliquant le PFD à la barre CD, déterminer l'équation différentielle vérifiée par  $z(t)$ . On posera

$$\frac{B^2 L^2}{mR} = 2\alpha \text{ et } \frac{2k}{m} = \omega_0^2$$

- 6) On supposera que  $\omega_0^2 - \alpha^2 = \gamma^2 > 0$ , quel est le régime obtenu ? Déterminer complètement  $z(t)$  en fonction de  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $V_0$  et  $t$ , en tenant compte des conditions initiales données au 2). Tracer l'allure de  $z(t)$ .
- 7) En appliquant le théorème de l'énergie cinétique entre l'instant initial (où la vitesse est  $V_0$ ) et l'instant infini (où la vitesse est nulle), déterminer l'expression du travail des forces de Laplace.
- 8) En effectuant un bilan énergétique à la barre, déduire de ce qui précède l'expression de l'énergie dissipée par effet joule dans la barre.