INSTITUT PREPARATOIRE AUX ETUDES D'INGENIEURS DE SFAX

Année Universitaire 2018-2019

Département des Etudes Préparatoires aux Concours de Technologie

Épreuve de Physique

(2ème Année de Préparation Biologie - Géologie)

Mardi 11 Décembre 2018 de 8h30 à 11h30

DEVIOR DE SYNTHESE DU 1^{ér} SEMESTRE

Exercice 1 :

Le volume de contrôle $A'BCD'$ définit le système machine ouvert $\sum_0$. La masse de fluide gazeux contenue dans ce volume est notée $m_0(t)$ à la date t et $m_0(t+dt)$ à la date $t+dt$. Le fluide s'écoule du réservoir de pression P_e au réservoir de pression P_s ($P_e > P_s$) : pendant la durée dt, une masse δm_e (contenue dans le volume $AA'D'D$) entre par l'ouverture de section S_e et une masse δm_s (contenue dans le volume $BB'C'C$) sort par l'ouverture de section S_s. Le système fermé $\sum$ considéré pour cette étude occupe à l'instant t le volume $ABCD$ et à l'instant $t + dt$ le volume $A'B'C'D'$ (Figure 1). Pour les fluides entrant et sortant, $u, h\ et\ V$ désignent respectivement l'énergie interne massique, l'enthalpie massique et le volume massique. Les grandeurs d'échange massiques entre ce système et le milieu extérieur sont: le transfert thermique massique q et le travail massique utile w_u fourni à l'intérieur de la machine par des pièces mobiles.

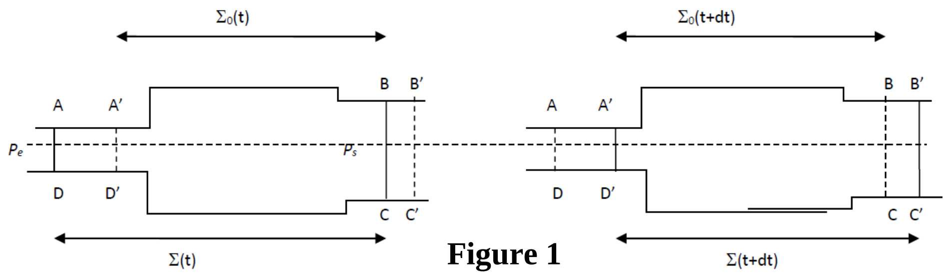

Figure 1

On suppose que le régime de fonctionnement de la machine est permanent et l'énergie potentielle associée est négligeable.

1- Établir un bilan de masse pour le système $\sum$ entre les instants t et $t+dt$. En déduire une relation simple entre δm_e et δm_s.

2- Déterminer en fonction de P_e, P_s, V_e et V_s le travail w_p exercé par les forces de pression sur le système $\sum$ entre les instants t et $t+dt$.

3- En appliquant le premier principe de la thermodynamique au système $\sum$ entre les instants t et $t + dt$,

a- Montrer que : $\left(h_s + \frac{1}{2}\, v_s^2\right) - \left(h_e + \frac{1}{2}\, v_e^2\right) = w_u + q$

b- Préciser la signification de chaque terme.

c- Réécrire le bilan énergétique en faisant apparaître les puissances et le débit massique D_m du fluide.

4- On considère une tuyère horizontale, calorifugée. De l'air, assimilé à un gaz parfait, est en écoulement permanent dans la tuyère. A l'entrée de la tuyère, la température est $T_e = 900\,K$, la pression $P_e = 1{,}5\,bar$, et on négligera la vitesse ($v_e = 0$). En sortie de la tuyère, la température est T_s, la pression $P_s = 1{,}0\,bar$ et la vitesse $v_s = c$.

a- Exprimer la chaleur massique à pression constante c_p en fonction de R (constante des gaz parfait), M (masse molaire du gaz) et γ (rapport des chaleurs massiques à pression et volume constants).

b- Monter que l'équation établie dans la question (3-a) peut s'écrire sous cette forme :

$$h_e - h_s = \frac{\gamma\, \mathrm{R}}{M\,(\gamma - 1)}(T_e - T_s)$$

c- Déduire l'expression de la vitesse c en fonction de T_e, T_s, R, M et γ.

d- Que vaut la vitesse de sortie c si l'évolution est isotherme ?

e- Dans quel cas la vitesse de sortie sera maximale ? Que vaut la vitesse de sortie maximale c_{max} ? Faire l'application numérique.

Données : $R = 8{,}314\,J.K^{-1}.mol^{-1}$; $M = 29\,g.mol^{-1}$; $\gamma = 1{,}4$.

Exercice 2 :

Un cylindre circulaire droit, homogène, isotrope et d'axe $z'z$, est limité par deux sections droites, de rayon r, orthogonales à l'axe $z'z$ et séparées approximativement par la distance L.

Une de ses deux extrémités ($z = 0$) est chauffée par effet Joule grâce à un résistor, de résistance $R_{él}$, soumis à une tension E constante et parcouru par un courant I. L'autre extrémité ($z = L$) est refroidie grâce à une circulation d'eau froide. Grâce à ces sources, les sections terminales sont maintenues à des températures constantes respectives $T(z = 0) = T_0$ et $T(z = L) = T_L$, avec $T_0 > T_L$.

De petits capteurs, insérés dans des cavités creusées dans le matériau, permettent de mesurer la température pour diverses valeurs de z. Ce barreau, constitué d'un matériau de conductivité thermique λ constante et uniforme, est supposé parfaitement calorifugé sur toute sa surface. La conduction thermique, envisagée en régime permanent et stationnaire, est unidimensionnelle, unidirectionnelle et parallèle à l'axe $z'z$: les surfaces isothermes sont planes et perpendiculaires à cet axe (Figure 2).

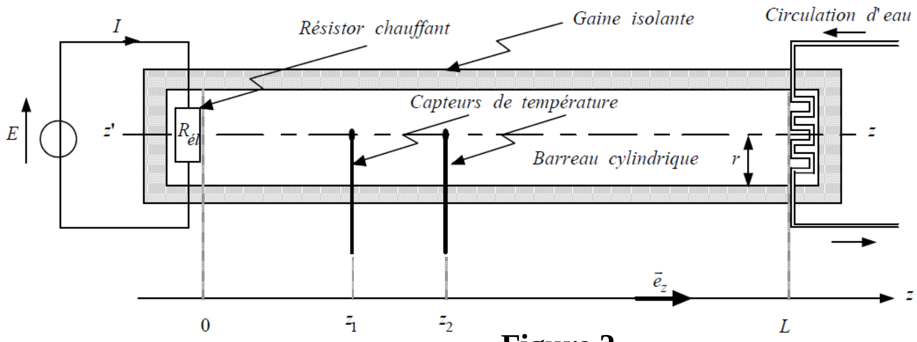

Figure 2

Soit $\Phi_{th}(z)$ le flux thermique (ou puissance) qui traverse, à l'abscisse z, une section droite, d'aire S. Le vecteur associé au flux est le vecteur densité de courant thermique $\vec{j}_{th}(z)$, lié à la température par la loi de Fourier.

1- Rappeler la loi de Fourier et les unités des grandeurs $\vec{j}_{th}$ et λ.

2- Rappeler la relation qui lie $\Phi_{th}(z)$ et $j_{th}(z)$.

3- Déterminer, en fonction de E et $R_{él}$, la puissance électrique $P_{él}$ reçue par le résistor et dégradée en puissance thermique (effet Joule).

4- Sachant que cette puissance est intégralement transmise au barreau, approximativement à l'abscisse $z = 0$, montrer que le vecteur densité de courant thermique $j_{th}(z = 0)$ en fonction des grandeurs E, $R_{él}$ et r (rayon du cylindre) est :

$$j_{th}(z = 0) = \frac{E^2}{\pi r^2 R_{él}}$$

5- Il n'y a aucune accumulation d'énergie en tout point du matériau. Montrer que le bilan thermique sur un petit élément volumique de matériau, d'aire S et d'épaisseur dz, situé entre les abscisses z et $z + dz$, permet de montrer que la température $T(z)$ est une fonction affine de z, à l'intérieur du barreau.

6- En déduire que le vecteur densité de courant thermique $j_{th}(z)$ et le gradient de température $\frac{dT}{dz}$ sont uniformes en tout point du barreau tel que : $0 \leq z \leq L$.

7- Les capteurs permettent de repérer les températures suivantes : $T(z_1) = T_1$ et $T(z_2) = T_2$.

a- Exprimer le gradient de température en fonction de T_1, T_2, z_1 et z_2.

b- Tracer l'allure de la courbe représentative de cette fonction $T(z)$.

8- Application numérique : $E = 6{,}0\ V$; $R_{él} = 10\ \Omega$; $r = 1{,}0\ 10^{-2}\ m$; $L = 4{,}0\ 10^{-1}\ m$; $z_1 = 1{,}0\ 10^{-1}\ m$; $z_2 = 2{,}0\ 10^{-1}\ m$; $T_1 = 330\ K$; $T_2 = 320\ K$.

a- Calculer la conductivité thermique λ du matériau.

b- Évaluer les températures approximativement attendues aux extrémités : T_0 en $z = 0$ et T_L en $z = L$.

c- Déterminer la puissance thermique évacuée par l'eau de refroidissement au cours de la traversée du serpentin, en $z = L$.

d- La résistance thermique R_{th} du barreau est définie par l'égalité $(T_0 - T_L) = R_{th}\Phi_{th}$ Calculer la résistance thermique linéique r_{th} du barreau (résistance thermique par unité de longueur).

Exercice 3 :

A la sortie d'un réacteur nucléaire, des neutrons diffusent dans une barre de contrôle suivant la direction $(0x)$ avec un coefficient de diffusion D. On notera $n^*(x,t)$ la densité de neutrons dans la barre de contrôle. Au cours de la diffusion, les neutrons subissent de nombreuses collisions avec les atomes de la barre et peuvent être absorbés par ces atomes. On admettra que le nombre de neutrons absorbés dans la barre par unité de volume et de temps suit la loi : $\sigma_a = Cn^*$, où C est une constante positive. Ces barres de contrôle servent à contrôler la réaction en chaîne qui se produit dans le cœur du réacteur en absorbant une partie des neutrons produits lors de la fission des noyaux d'uranium 235. Ces barres sont le plus souvent à base de bore. On suppose le régime permanent établi.

1- Quelle est la dimension de C ?

2- Ecrire la relation qui relie le flux de neutrons $\Phi_n(x)$ et la densité de neutrons $n^*(x)$. Quelle est l'unité du coefficient de diffusion D (S.I.) ?

3- Etablir l'équation différentielle vérifiée par la densité $n^*(x)$ en faisant un bilan du nombre de neutrons sur une tranche élémentaire du barreau comprise entre x et $x + dx$ pendant une durée élémentaire dt.

4- La solution de l'équation différentielle est : $n^*(x) = A\, exp\left(-\sqrt{\frac{C}{D}}x\right) + B\, exp\left(\sqrt{\frac{C}{D}}x\right)$

avec A et B sont des constantes.

Sachant qu'à l'extrémité $x = 0$ de la barre de graphite, le réacteur nucléaire dégage N_0 neutrons par unité de temps et de surface et quand $x \to +\infty$ la densité de neutrons $n^*(x)$ reste fini.

a- Déterminer les constantes A et B et en déduire l'expression de la densité de neutrons $n^*(x)$ dans la barre de contrôle. On l'exprimera en fonction de $d = \sqrt{\frac{D}{C}}$.

b- Tracer qualitativement $n^*(x)$. Quelle est la dimension de d et son sens physique ?