PARTIEL DE THERMODYNAMIQUE

Durée : 2 heures

Les documents et les téléphones portables ne sont pas autorisés. Les calculatrices sont autorisées. Barème approximatif : 1$^{\text{er}}$ exercice = 6 pts ; 2$^{\text{ème}}$ exercice = 14 pts.

1 Pollution thermique

Une centrale de production d'électricité utilise comme source froide l'eau d'une rivière. On se propose de déterminer l'échauffement de l'eau de la rivière qui en résulte. La machine comporte un fluide qui joue le rôle du système thermodynamique étudié. Ce système subit une suite de transformations cycliques identiques au cours desquelles il échange de la chaleur avec une source chaude (température T_2) et la source froide (température T_1) en fournissant de l'énergie mécanique au réseau électrique.

La puissance mécanique reçue par le système est $\mathscr{P}$. La puissance thermique[1] reçue par le système de la part de la source froide (respectivement chaude) est Π_1 (respectivement Π_2).

1/ Quels sont les signes des grandeurs algébriques $\mathscr{P}$, Π_1 et Π_2 ?

(a) Définir l'efficacité η de l'installation et donner son expression en fonction des puissances mécaniques et thermiques pertinentes.

(b) Montrer que η est bornée supérieurement. Calculer la valeur η_{max} de cette borne supérieure (on donnera son expression en fonction de T_1 et T_2). Quand l'efficacité de l'installation est-elle optimale ? Caculer η_{max} pour une source froide à 16 °C et une source chaude à 350 °C.

2/ Dans ce qui suit on suppose que l'installation fonctionne dans des conditions telles que $\eta = 0,8\,\eta_{\text{max}}$.

(a) Exprimer Π_1 en fonction de η et $\mathscr{P}$.

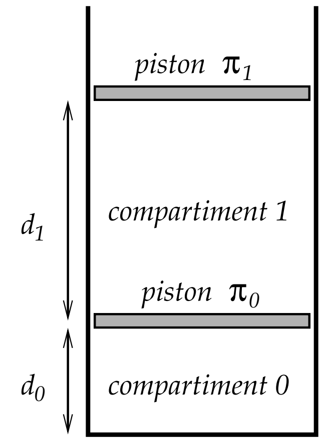
(b) On appelle ΔT l'élévation de la température de l'eau de la rivière entre l'amont et l'aval de son cours due au fonctionnement de la centrale. Donner son expression en fonction du débit volumique D de la rivière, de la masse volumique μ de l'eau, de la chaleur spécifique massique à pression constante c_P de l'eau (considérée comme indépendante de la température), de $|\mathscr{P}|$ et de η.

(c) Calculer ΔT avec les données suivantes:
$|\mathscr{P}| = 0,5$ GW, $D = 200$ m^3/s, $c_P = 1$ cal.K^{-1}.g^{-1}.

[1] Les puissances thermiques sont les tranferts thermiques par unité de temps.

2 Différentes transformations subies par des gaz parfaits

On considère un dispositif constitué d'un cylindre de section $S = 10^{-2}$ m^2, ouvert sur une extrémité dans l'atmosphère (pression P_{atm}), dans lequel deux pistons de masse et d'épaisseur négligeables peuvent se déplacer sans frottement. Ces deux pistons (notés π_0 et π_1) définissent deux compartiments, 0 et 1 de hauteurs d_0 et d_1 (cf. figure ci-contre). Le compartiment 0 contient du dioxygène, et le compartiment 1 du diazote et on assimile ces deux gaz à des gaz parfaits dont la constante γ est indépendante de la température ($\gamma = 1,4$).
Dans tout l'exercice les quantités relatives au dioxygène seront affublées d'un indice 0 et celles relatives au diazote d'un indice 1.



1/ On bloque le piston π_0, le piston π_1 restant libre de se déplacer. Le dispositif est alors dans l'état d'équilibre A caractérisé par $T_0^A = 300$ K, $P_0^A = 10^5$ Pa, $d_0^A = 0,2$ m, $T_1^A = 300$ K, $P_1^A = P_{\mathrm{atm}} = 10^5$ Pa et $d_1^A = 0,15$ m.

Les deux pistons sont calorifugés. Les parois du cylindre sont perméables à la chaleur; on les met en contact avec un thermostat à la température $T_{\mathrm{th}} = 600$ K. Le dispositif évolue alors pour atteindre un nouvel état d'équilibre: B.

(a) Calculer les nombres de moles (n_0 et n_1) de dioxygène et de diazote contenues dans les compartiments.

(b) Caractériser la transformation subie par le dioxygène. En déduire T_0^B, P_0^B et d_0^B.

(c) Caractériser la transformation subie par le diazote. En déduire T_1^B, P_1^B et d_1^B.

(d) Calculer les travaux mécaniques ($W_0^{A\to B}$ et $W_1^{A\to B}$) et les quantités de chaleur ($Q_0^{A\to B}$ et $Q_1^{A\to B}$) reçus par chacun des gaz au cours de la transformation.

(e) Calculer les variations d'entropies $\Delta S_0^{A\to B}$ et $\Delta S_1^{A\to B}$ de chacun des gaz, ainsi que la variation d'entropie de l'univers $S_{\mathrm{prod}}^{A\to B}$ associée à cette transformation (on parle de manière équivalente "d'entropie produite au cours de la transformation", d'òu la notation). Commenter.

2/ Le dispositif étant dans l'état B, on bloque le piston π_1 et on débloque le piston π_0. Tout en restant en contact avec le thermostat, le dispositif atteint alors un nouvel état d'équilibre: C.

(a) Que peut-on dire sur les températures T_0^C et T_1^C et sur les pressions P_0^C et P_1^C du dioxygène et du diazote dans l'état C ?

(b) Déterminer d_0^C et d_1^C. En déduire les pressions P_0^C et P_1^C.

(c) Calculer les variations d'énergie interne et d'entropie pour chacun des deux gaz.

(d) Montrer que $Q_0^{B\to C} + Q_1^{B\to C} = 0$. En déduire la variation d'entropie de l'univers $S_{\mathrm{prod}}^{B\to C}$ associée à cette transformation.