

Feuille d'exercices n°3 : Systèmes ouverts

Révisions sur les machines thermiques

Exercice 1 : Machine frigorifique

On considère un réfrigérateur supposé fonctionner réversiblement, d'efficacité $\eta = 6$, dont la température intérieure vaut -18°C .

- 1) Qu'est-ce qu'un réfrigérateur ?
- 2) Que vaut la température extérieure ?
- 3) On veut transformer de l'eau à 20°C en glace à -18°C . Calculer pour une masse de 1kg d'eau transformée, le transfert mécanique W reçu par le réfrigérateur.

Données :

- capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_{\text{liq}} = 4,18 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- capacité thermique massique de la glace : $c_g = 2,05 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- enthalpie de fusion de la glace : $L_f = 335 \text{ kJ.kg}^{-1}$

Exercice 2 : Représentation géométrique du rendement d'une machine de Carnot

L'agent thermique d'une machine de Carnot décrit le cycle du diagramme 1.

- Le cycle est-il moteur ? A quoi sert cette machine ?

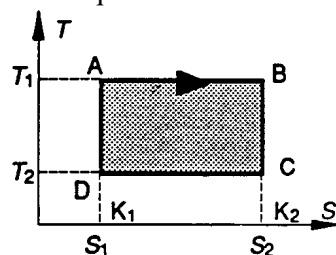


Figure 1 : Diagramme d'une machine de Carnot

- Montrer qu'on peut donner une évaluation géométrique du rendement ou de l'efficacité de la machine en fonction des aires algébriques des rectangles du diagramme.

Exercice 3 : Association d'un moteur de Carnot et d'une pompe à chaleur

Un moteur de Carnot échange de la chaleur avec une source chaude S_1 de température T_1 et une source froide S_3 de température T_3 . Le travail W fourni par ce moteur sert à faire fonctionner une pompe à chaleur réversible dont la source froide est S_3 et dont la source chaude S_2 est à la température T_2 .

Représenter schématiquement l'installation et les échanges d'énergie.

Définir l'efficacité de l'ensemble et la calculer dans le cas où les températures sont $T_1 = 600 \text{ K}$, $T_2 = 300 \text{ K}$ et $T_3 = 270 \text{ K}$.

Systèmes ouverts

Exercice 4 : Bilan sur un système ouvert

On pompe de l'eau d'un bassin, à la température $T_b = 363 \text{ K}$, avec un débit volumique de $q_v = 180 \text{ L.min}^{-1}$, vers un réservoir placé $z = 20 \text{ m}$ plus haut. Avant de pénétrer dans le réservoir, l'eau est refroidie dans un échangeur en cédant : 45 MJ.min^{-1} . Le régime est stationnaire et son énergie cinétique macroscopique est négligeable. La puissance mécanique fournie par la pompe est $P_m = 2 \text{ kW}$. On donne la capacité thermique massique de l'eau liquide $c = 4,2 \text{ kJ.kg}^{-1}$. Trouver la température T_r de l'eau qui entre dans le réservoir.

Exercice 5 : Écoulement d'air dans une conduite de section variable

On considère l'écoulement stationnaire d'air dans une conduite cylindrique horizontale adiabatique de section variable. Les données techniques sont les suivantes : le flux de masse est $D_m = 3 \text{ kg.s}^{-1}$; à l'entrée, la vitesse est $V_e = 300 \text{ m.s}^{-1}$, la masse volumique $\rho_e = 5 \text{ kg.m}^{-3}$, la pression $P_e = 5,4 \text{ bar}$ et la température $T_e = 573 \text{ K}$; à la sortie, la vitesse est $V_s = 500 \text{ m.s}^{-1}$, la masse volumique $\rho_s = 1 \text{ kg.m}^{-3}$, la pression $P_s = 1 \text{ bar}$ et la température T_s . On rappelle la masse molaire de l'air : $M = 29 \text{ g.mol}^{-1}$. $C_{p,m} = 7R/2$

- 1) Relier la variation d'enthalpie d'une masse d'air de 1 kg, entre l'entrée de la conduite et la sortie, à la variation d'énergie cinétique correspondante.
- 2) En déduire la température de l'air à la sortie. Comparer cette détente à la détente de Joule-Kelvin.
- 3) Quelle est la variation d'entropie de cette masse d'air ? L'évolution est-elle réversible ou irréversible ? Justifier.
- 4) Calculer les aires des sections droites de la conduite à l'entrée et à la sortie.

Exercice 6 : Détente de diazote dans une turbine

Du diazote, assimilé à un gaz parfait diatomique (masse molaire 28 g.mol^{-1}), s'écoule avec un débit massique de 4 kg.s^{-1} dans une conduite horizontale ; il se détend isothermiquement de la pression $P_1 = 6 \text{ bar}$ jusqu'à la pression $P_2 = 2 \text{ bar}$. En régime stationnaire, la détente fournit au milieu ambiant, à la température $T_0 = 298 \text{ K}$, une puissance de 50 kW . Les vitesses à l'entrée et à la sortie sont respectivement : 50 m.s^{-1} et 150 m.s^{-1} .

- 1) Quel est le transfert thermique reçu par le gaz pendant une seconde ?
- 2) Calculer la variation d'entropie d'une masse de 4 kg de diazote. Effectuer le bilan entropique de cette détente.

Exercice 7 : Compresseur adiabatique

Un compresseur amène de l'air de l'état 1 atmosphérique ($P_1 = 1 \text{ bar}$, $T_1 = 300 \text{ K}$) jusqu'à l'état 2 ($P_2 = 6 \text{ bar}$, T_2).

La puissance P du moteur qui l'entraîne est de $1,5 \text{ kW}$ et le débit massique est de $6,5 \text{ g.s}^{-1}$.

Pour l'air, assimilé à un gaz parfait : $C_p = 1,0 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ et $\gamma = 1,4$.

- 1) Calculer la température T_2 .
- 2) Calculer l'entropie créée par unité de temps.
- 3) Quel serait le débit si l'évolution de l'air était isentropique ?

Exercice 8 : Détermination d'une capacité thermique massique

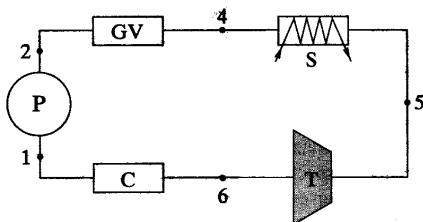
On établit, à pression constante, un courant gazeux dans un serpentin métallique de débit massique D_m (D_m représente la masse de gaz qui traverse une section de serpentin par unité de temps).

Le serpentin est plongé dans un calorimètre rempli d'eau, de capacité thermique totale C (cette capacité inclut l'eau, le calorimètre et ses accessoires). Le gaz, initialement chauffé dans un four, arrive dans le calorimètre à une température T_1 . En régime stationnaire, le gaz sort du calorimètre à la température T_2 .

- 1) Lorsqu'on interrompt le courant gazeux, on constate que la température T du calorimètre diminue, ce qui indique l'existence de « fuites thermiques ». En admettant que les pertes thermiques par unité de temps sont proportionnelles à l'écart de température ($T - T_0$) entre la température T du calorimètre et celle T_0 (supposée constante) du milieu extérieur (on désignera par k la constante de proportionnalité), déterminer la loi d'évolution de la température T du calorimètre en fonction du temps t , de C , k , T_0 et T_2 .
- 2) Calculer la valeur de la capacité thermique massique à pression constante C_p du gaz en fonction de k , D_m , T_0 , T_1 et T_2 .
- 3) Données : $C = 4 \text{ kJ.K}^{-1}$ et $D_m = 0,47 \text{ g.s}^{-1}$.
On a mesuré les températures $T_0 = 293 \text{ K}$, $T_1 = 373 \text{ K}$ et $T_2 = 310 \text{ K}$.
Déterminer la valeur numérique du coefficient k sachant que dix minutes après avoir coupé le courant gazeux, la température T du calorimètre a diminué de 2 K .
En déduire la capacité C_p du gaz (dioxyde de carbone).

Exercice 9 : Machine à vapeur

Dans une machine à vapeur, de l'eau circule en circuit fermé entre différents éléments et (parcourt le cycle schématisé ci-dessous).



L'installation se compose des éléments suivants :

- une pompe P qui réalise une compression supposée isentropique du liquide ;
- un générateur de vapeur (GV) qui réalise un échauffement 2→3, et une évaporation 3→4. Le fluide est à l'état de liquide saturant en 3, et à l'état de vapeur saturante en 4 ;
- un surchauffeur (S), qui échauffe la vapeur à pression constante. Cet échauffement est réalisé par échange thermique avec les gaz issus de la combustion ;
- une turbine (T) où le fluide subit une détente adiabatique réversible, sans variation notable d'énergie cinétique, en fournissant du travail mécanique ;
- un condenseur (C) dans lequel le fluide se condense de façon isobare.

- 1) Déterminer la température T_5 (à la sortie du surchauffeur) telle, que le fluide, en fin de détente, soit constitué de vapeur saturante, sans liquide.
- 2) La condition précédente étant vérifiée, tracer l'allure du cycle sur un diagramme (T, s). Pourquoi, sur ce diagramme, les points 1 et 2 sont-ils confondus ?
- 3) Déterminer l'énergie échangée par 1 kg de fluide dans chaque partie de la machine. Calculer le rendement du moteur.

Données :

- volume massique de l'eau liquide : $v_l = 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$;

- pressions de changement d'état : 1 bar et 50 bars ;

- chaleur latente de vaporisation de l'eau : $2256 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ à 1 bar et $1641 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ à 50 bars ;

- capacité thermique massique moyenne de l'eau liquide dans le domaine de température utilisé : $4,45 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.

On utilisera le diagramme de Mollier simplifié ci-contre.

