

TD00 : Thermodynamique première année

Lois de la thermodynamique

ThermoSup080. Compression (Adapté, oral ESM 2018, **)

On considère n_0 moles de gaz parfait enfermées dans une enceinte limitée par un piston mobile, les échanges thermiques étant possibles avec l'extérieur à la température T_0 constante. Initialement la température est T_0 , le volume V_0 et la pression P_0 .

On comprime alors le gaz en suivant deux protocoles différents :

- premier protocole : on ajoute brutalement une masse M sur le piston qui revient à faire passer la pression extérieure sur le piston de P_0 à $2P_0$;
- second protocole : on ajoute cette même masse mais par ajouts successifs de petits grains de sable.

1. Déterminer l'état final du système.
2. Pour chacun des deux protocoles, déterminer : la variation d'énergie interne ΔU , le travail W et le transfert thermique Q reçus par le gaz au cours de cette évolution. Commenter les signes des grandeurs.

Pour un gaz parfait, on rappelle que la variation d'entropie entre deux états d'équilibre i et f a pour expression :

$$\Delta S = n_0 C_{vm} \ln \left(\frac{T_f}{T_i} \right) + n_0 R \ln \left(\frac{V_f}{V_i} \right)$$

3. Déterminer pour chacun des deux protocoles la variation d'entropie, l'entropie échangée et l'entropie créée.
Commentaire.

Réponses : 1 : $T_f = T_0$, $P_f = 2P_0$, $V_f = V_0/2$; 2 : $\Delta U = 0$, $W_1 = n_0 R T_0 = -Q_1$, $W_2 = n_0 R T_0 \ln(2) = -Q_2$; 3 : $\Delta S = -n_0 R \ln(2)$, $S_{e,1} = -n_0 R$, $S_{e,2} = -n_0 R \ln(2)$, $S_{c,1} = n_0 R [1 - \ln(2)] > 0$, $S_{c,2} = 0$

ThermoSup028. Équilibre eau-glace (*)

Un calorimètre thermiquement isolé et de capacité thermique négligeable contient une masse $M_L = 1,00$ kg d'eau liquide, initialement à la température $t_2 > t_0 = 0^\circ\text{C}$. Une masse $M_s = 1,00$ kg de glace, initialement à la température $t_1 = -20^\circ\text{C}$, est ajoutée dans le calorimètre.

Données : $l_f(P_0 = 1 \text{ bar}, t_0) = 334 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ enthalpie massique de fusion de la glace ; $c_g = 2,09 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ capacité thermique de la glace (supposée

constante), $c_l = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ capacité thermique de l'eau (supposée constante).

Déterminer et calculer la température minimale t_{2min} de la masse M_L d'eau liquide pour laquelle, à l'équilibre, toute l'eau est sous forme liquide.

Réponses : $t_2 = 90^\circ\text{C}$

ThermoSup058. Solides mis en contact (**)

On considère deux solides S_1 et S_2 de capacités thermiques C_1 et C_2 aux températures T_1 et T_2 .

On les met en contact dans un calorimètre de capacité thermique négligeable.

1. Donner l'expression de T_{eq} la température finale du système composé des deux solides et du calorimètre.
2. Calculer ΔS la variation d'entropie du système.
3. Si $C = C_1 = C_2$ donner le signe de ΔS .

Réponses : 1 : $T_F = \frac{C_1 T_1 + C_2 T_2}{C_1 + C_2}$; 2 : $\Delta S = C_1 \ln \left(\frac{T_f}{T_1} \right) + C_2 \ln \left(\frac{T_f}{T_2} \right)$;
3 : $\Delta S = C \ln \left(\frac{(T_1 + T_2)^2}{4T_1 T_2} \right) \geq 0$

Applications aux machines thermiques

ThermoSup073. Énoncé de Kelvin (**)

À l'aide des principes de la thermodynamique, démontrer l'énoncé historique de Kelvin du deuxième principe :

Il est impossible de réaliser un moteur cyclique monotherme

ThermoSup074. Étude d'un congélateur (**)

Un congélateur est placé dans une pièce à la température de 20°C (supposée constante). Pour maintenir l'intérieur de ce congélateur à la température constante de -19°C , il est nécessaire d'en extraire par transfert thermique, 400 kJ par heure. Cette opération est supposée se faire de manière **réversible**.

1. Calculer le transfert thermique fourni à la pièce en une heure par le fluide caloporteur.
2. Calculer la puissance moyenne du compresseur pour réaliser cette opération.
3. Définir puis calculer l'efficacité de cette machine thermique.

Réponses : 1 : La pièce reçoit 461 kJ par heure ; 2 : $\mathcal{P} = 17 \text{ W}$; 3 : $\eta = 6,5$

ThermoSup031. Climatiseur et pseudo-sources (***)

Un local de capacité thermique totale $C = 4,0 \times 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1}$ est initialement à la température $T_0 = 32^\circ\text{C}$ de l'air extérieur. Un climatiseur fonctionnant de manière ditherme réversible entre l'air extérieur (à température constante) et le local (de température variable) ramène la température de celui-ci à $T_1 = 20^\circ\text{C}$ en une durée $\Delta t = 1,0 \text{ h}$.

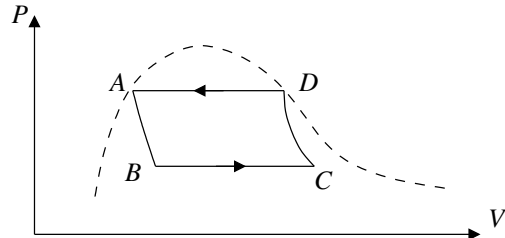
Au cours d'un cycle élémentaire où la température du local varie de $T(t)$ à $T(t) + dT$, le fluide circulant dans le climatiseur reçoit un transfert thermique δQ_1 du local et δQ_2 de l'air extérieur à la température T_2 constante.

1. Lors de l'évolution élémentaire et en utilisant le premier principe, trouver une relation entre C , dT et δQ_1 .
2. En utilisant le caractère réversible d'un cycle élémentaire, trouver une relation entre T , T_2 , δQ_1 et δQ_2 .
3. En déduire les expressions des quantités de chaleur totales Q_1 et Q_2 échangées durant le refroidissement du local de la température T_0 à T_1 .
4. Déterminer alors le travail total W fourni au climatiseur. Faire l'application numérique.
5. Quelle est la puissance électrique moyenne P fournie au climatiseur ?

Réponses : 1 : $CdT = -\delta Q_1$; 2 : $0 = \frac{\delta Q_1}{T} + \frac{\delta Q_2}{T_0}$; 3 : $Q_1 = C(T_0 - T_1)$; $Q_2 = CT_0 \ln\left(\frac{T_1}{T_0}\right)$;
4 : $W = 970 \text{ kJ}$; 5 : $P = 2,7 \times 10^2 \text{ W}$

ThermoSup063. Machine frigorifique (***)

Une machine frigorifique fonctionne selon le cycle ci-dessous de transformations réversibles $DABCD$ d'un fluide.



- DA liquéfaction isotherme à T_1 ;
- AB détente isentropique qui amène le fluide dans l'état de température et de titre massique en vapeur x_1 ;
- BC vaporisation isotherme partielle jusqu'à l'état C de titre massique en vapeur x_2 ; C est situé sur la courbe isentropique passant par D ;
- s_0 et s_1 sont respectivement les entropies massiques du liquide saturant à T_0 et T_1 ;

— l_0 et l_1 sont respectivement les enthalpies massiques de vaporisation à T_0 et T_1 .

1. Déterminer les valeurs des titres massiques en vapeur x_1 et x_2 en fonction de s_0 , s_1 , T_0 , T_1 , l_0 et l_1 .
2. Exprimer les transferts thermiques q_{BC} et q_{DA} reçus du milieu extérieur par l'unité de masse du fluide lors des transformations isothermes BC et DA .
3. Exprimer le travail reçu par l'unité de masse du fluide au cours du cycle.
4. Le système précédent constitue une machine frigorifique. Quelles sont les températures respectivement des sources froide et chaude ? Déterminer l'efficacité de cette machine.

Réponses : 1 : $x_1 = \frac{T_0(s_1 - s_0)}{l_0}$, $x_2 = \frac{l_1}{l_0} \times \frac{T_0}{T_1} + \frac{T_0(s_1 - s_0)}{l_0}$; 2 : $q_{BC} = l_1 \frac{T_0}{T_1}$; $q_{DA} = -l_1$;
3 : $w = l_1 \left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right)$; 4 : $\eta = \frac{T_0}{T_1 - T_0}$

ThermoSup056. Moteur Diesel (**)

On considère le cycle du moteur Diesel à 4 temps.

- admission du mélange ;
- compression isentropique entre A et B ;
- explosion/échauffement isobare entre B et C ;
- détente isentropique entre C et D ;
- refroidissement isochore entre D et A ;
- échappement.

1. Dessiner le cycle dans le diagramme (P, V) .
2. Déterminer le rendement en fonction du taux de compression.

Indication : On note $\alpha = \frac{V_A}{V_B}$ et $\beta = \frac{V_A}{V_C}$, montrer que :

$$r = 1 + \frac{1}{\gamma} \frac{\beta}{\alpha^\gamma} \frac{1 - \frac{\alpha^\gamma}{\beta^\gamma}}{1 - \frac{\beta}{\alpha}}$$

ThermoSup081 - Machine réfrigérante (**)

Une machine frigorifique est utilisée afin de maintenir un local contenant des denrées périssables à 0°C . Cette machine contient un fluide frigorigène de type fréon dont le diagramme Température-Entropie massique (T, s) est donné en annexe. Le mélange liquide-vapeur est situé dans la zone centrale sous la courbe de saturation. Sur ce diagramme apparaissent les isobares et les isenthalpes. Cette

machine ditherme qui fonctionne en régime permanent échange de la chaleur avec une source chaude à 40°C (atmosphère extérieure) et une source froide à 0°C (local réfrigéré). Le schéma général de fonctionnement avec le sens de circulation du fluide est présenté ci-contre. Compte tenu du faible débit du fréon circulant dans les tuyauteries de la machine, les variations d'énergie cinétique seront négligées dans tout le problème. Le cycle décrit par le fréon présente les caractéristiques suivantes :

- la compression de 1 à 2 est adiabatique réversible ;
 - le passage dans les deux échangeurs (condenseur et évaporateur) est isobare (de 2 à 3 et de 4 à 1) ;
 - la vanne est considérée comme un tuyau indéformable et ne permettant pas les échanges de chaleur. La détente 3 à 4 y est isenthalpique ;
 - la température du fréon lors de l'évaporation dans l'évaporateur est de -10°C .
 - la pression de fin de compression en 2 est 15 bars.
 - Le point 3 est du liquide saturé ;
 - la quantité de chaleur échangée dans l'évaporateur avec le local permet une évaporation complète du fréon venant de 4 et conduit la vapeur de façon isobare jusqu'à la température de -10°C (point 1, point saturé).
1. Placer les 4 points du cycle 1, 2, 3, 4 sur le diagramme, représenter le cycle et déterminer par lecture graphique et interpolation linéaire sur le diagramme les valeurs de P , T , h et s en ces différents points. Regrouper ces résultats dans un tableau.
 2. Comment peut-on trouver, de deux façons différentes, sur le diagramme la valeur de l'enthalpie massique de vaporisation ℓ_v du fréon à une température T_0 donnée ? Déterminer celle-ci à la pression $P_0 = 3,0$ bar.
 3. Calculer le titre x en vapeur du point 4 de la machine frigorifique.
 4. Déterminer l'efficacité de cette machine frigorifique.

Réponses : 2 : $\ell_v \approx 1,5 \times 10^2 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$; 3 : $x \approx 0,44$; 4 : $\eta = 2,3$