

THERMODYNAMIQUE DE SUP

I. Effet Joule et rayonnement

Un fil conducteur, de masse m , de résistance R indépendante de la température et de capacité thermique massique à pression constante c_p est parcouru par un courant I à partir de $t = 0$.

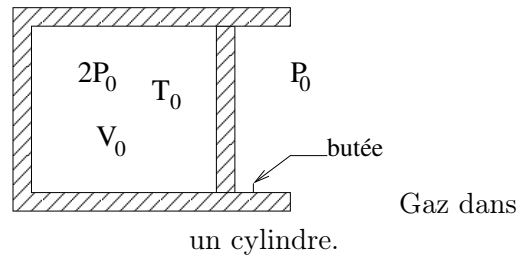
Ce fil reçoit du travail électrique, mais il perd par rayonnement dans l'atmosphère une puissance $P = K(T - T_a)$ où T est la température variable du fil et T_a celle de l'atmosphère supposée constante.

Établir l'expression de T en fonction de t . Commentaires ?

II. Transformation d'un gaz parfait

Soit un gaz parfait dont on connaît la valeur de γ contenu dans un cylindre horizontal et isolé thermiquement. Les conditions initiales sont $(2P_0, V_0, T_0)$, la pression extérieure est égale à P_0 , et le piston mobile est bloqué par une butée. On enlève la butée. Le gaz se détend brusquement.

Déterminer l'état final (P_f, T_f, V_f) et la variation d'énergie interne ΔU en fonction de γ, P_0, V_0, T_0 .



III. Calcul de base sur l'entropie

On considère un solide de masse $m = 1,0$ kg de capacité thermique massique $c = 1,2$ kJ.kg⁻¹.K⁻¹ se trouvant initialement à la température $T_1 = 273$ K. Il est alors placé dans une grande quantité d'eau (constituant un thermostat) à la température $T_2 = 373$ K.

1. Lorsque l'équilibre thermique est atteint : quelle est la température du solide ? Et celle du thermostat ?
2. Exprimer la variation d'entropie ΔS_{solide} du solide lors de ce processus en fonction de m, c, T_1, T_2 . Faire l'application numérique.
3. Même question pour la variation d'entropie ΔS_{eau} de l'eau.
4. En déduire la variation d'entropie $\Delta S_{univers}$ de l'univers constitué par l'ensemble {solide+thermostat}. Effectuer l'application numérique et commenter le résultat.

Donnée : $S(T) = S(T_{ref}) + mc \ln \left(\frac{T}{T_{ref}} \right)$ pour un solide.

IV. Frigopompe

On désire transformer 10,0 kg d'eau liquide à 0°C en glace à la même température à l'aide d'une frigopompe. L'atmosphère du local est à la température de 25,0°C et le compartiment contenant l'eau est parfaitement isolé du local.

On se place dans les conditions de fonctionnement réversible de la frigopompe.

1. Calculer l'efficacité de la frigopompe.
2. Calculer le travail fourni à la frigopompe.
3. Calculer la chaleur transférée au local.
4. La glace doit être formée en 6 heures. Calculer la puissance mécanique fournie à la frigopompe.
5. Calculer la variation d'entropie de l'eau.

Données : $\Delta_{fus}h(273 \text{ K}) = 330$ kJ.kg⁻¹

V. Vaporisation isobare ou isochore

Une masse de 1 kg d'eau liquide est contenue dans un récipient fermé par un piston, à 100 °C sous P_{atm} . Par déplacement infiniment lent du piston, l'ensemble étant dans un thermostat à 100 degreC, on réalise la vaporisation totale de l'eau.

1. Calculer l'énergie thermique fournie par le thermostat, le travail échangé, les variations d'énergie interne, d'enthalpie et d'entropie de l'eau.
2. On place directement 1 kg d'eau liquide, prise à 100 degreC, dans un récipient à 100 °C, initialement vide, et de volume $V_f = 1,67 \text{ m}^3$. L'eau s'y vaporise instantanément. Déterminer les mêmes grandeurs qu'au 1) ainsi que la création d'entropie.

Données : $\Delta_{vap}h = 2,25.10^3 \text{ kJ.kg}^{-1}$, $P_{atm} = 1 \text{ bar}$.

VI. Surfusion du phosphore

Un liquide est dit surfondu si il ne change pas d'état alors qu'il est à une température inférieure à la température de fusion. Soit un récipient contenant une masse 10 g de phosphore liquide surfondu à la température $\theta_1 = 34^\circ\text{C}$ sous la pression atmosphérique.

1. On fait cesser la surfusion et on observe un nouvel état d'équilibre diphasé du phosphore. Déterminer la masse respective de chacune des phases.
2. Calculer la variation d'entropie correspondante.
3. Quel serait l'état final du système si on faisait cesser la surfusion d'une même masse de phosphore initialement à la température $\theta_2 = 17,5^\circ\text{C}$.

On donne pour le phosphore :

$T_{fus} = 317 \text{ K}$, $\Delta_{fus}h = 20,9 \text{ kJ.kg}^{-1}$, $c_{Pliq} = 795 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ et $c_{Psol} = 840 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

VII. Détente isentropique d'une vapeur saturante

On considère le système formé par 1 kg d'eau initialement à l'état de vapeur saturante, à la pression $P_1 = 5,00 \text{ bar}$, dans un cylindre fermé par un piston mobile. On réalise la détente adiabatique réversible de cette eau jusqu'à la pression $P_2 = 1,00 \text{ bar}$. On affectera l'indice 1 à l'état initial et l'indice 2 à l'état final.

Données :

Pression P	température saturante	Etat	Energie interne massique	Entropie massique
1,00 bar	99,6 °C	liquide saturant	417 kJ.kg ⁻¹	1,303 kJ.kg ⁻¹ K ⁻¹
1,00 bar	99,6 °C	vapeur saturante	2506 kJ.kg ⁻¹	7,359 kJ.kg ⁻¹ K ⁻¹
5,00 bar	151,9 °C	liquide saturant	640 kJ.kg ⁻¹	1,861 kJ.kg ⁻¹ K ⁻¹
5,00 bar	151,9 °C	vapeur saturante	2561 kJ.kg ⁻¹	6,821 kJ.kg ⁻¹ K ⁻¹

1. Représenter qualitativement la courbe de saturation de l'eau dans le diagramme de Clapeyron, ainsi que les deux isothermes 99,6°C et 151,9°C.
2. Quelle est la valeur de l'entropie massique de l'eau dans l'état final ?
3. Calculer le titre massique x_2 de la vapeur dans l'état final.
4. Calculer l'énergie interne massique u_2 de l'eau dans l'état final.
5. En déduire le travail reçu par le système au cours de la détente.

VIII. Développement durable

Pour maintenir en hiver la température d'une maison d'habitation à 20 °C, la consommation volumique quotidienne de la chaudière est égale à D litres de fuel. Durant cette période, la température extérieure est en moyenne de -5 °C.

Afin d'améliorer l'installation de chauffage, un ingénieur propose de remplacer la chaudière par une thermopompe (pompe à chaleur). Celle-ci reçoit le travail nécessaire à son fonctionnement grâce à un moteur en contact avec l'extérieur (source froide) et une source chaude à $T_C = 600$ K.

La source chaude en contact avec le moteur est constituée par le foyer d'une chaudière bien isolée du milieu ambiant et maintenue à la température constante $T_C = 600$ K par la combustion du fuel. La chaleur q transférée par litre de fuel est la même que pour la chaudière auquel le nouveau système se substitue.

L'intérieur de l'habitation joue le rôle de source chaude pour la thermopompe, l'extérieur étant la source froide. On suppose que le système est réversible.

On appelle Q_c la chaleur reçue par le moteur venant de la source chaude, Q_{FM} , la chaleur reçue par le moteur venant de l'extérieur, Q_{FP} , la chaleur reçue par la thermopompe venant de l'extérieur, Q_i la chaleur échangée entre l'intérieur de la maison et la thermopompe.

1. On étudie le système $\{\text{moteur} + \text{thermopompe}\}$, faire un schéma de principe.
2. Calculer en jours la durée pendant laquelle la maison pourra être chauffée avec D litres de fuel consommés par le système.
3. Quelle est l'influence de la valeur de T_C sur cette durée ?

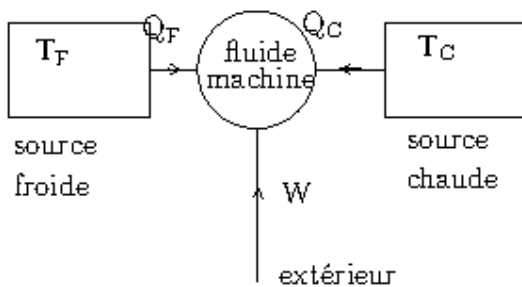
IX. Machine à vapeur

Dans une machine à vapeur, une mole d'eau, contenue dans un cylindre fermé par un piston mobile, décrit par le cycle représenté dans le diagramme de Clapeyron de la figure 1.

Les évolutions 1 – 2 et 3 – 4 sont isentropiques ; les évolutions 2 – 3 et 4 – 1 sont isobares.

Au cours de l'évolution 2 – 3, l'eau reçoit la chaleur Q_F d'une source froide dont la température est égale à $T_F = 373$ K.

Au cours de l'évolution 4 – 1, l'eau reçoit la chaleur Q_C d'une source chaude dont la température T_C est égale à T_1 .



État	1	2	3	4
P en bar	20	1	1	20
T en K	?	373	373	?

Pression de vapeur saturante $P_S(485 \text{ K}) = 20$ bar.

Enthalpie massique de vaporisation $\Delta h_{vap}(373 \text{ K}) = 46,8 \text{ kJ.mol}^{-1}$.

1. Indiquer sous quelle forme se trouve l'eau dans chacun des états du cycle 1, 2, 3, 4.
2. Indiquer le signe du travail W reçu par l'eau au cours du cycle.
3. Montrer que $W + Q_C + Q_F = 0$ et $\frac{Q_C}{T_C} + \frac{Q_F}{T_F} \leq 0$.
4. Définir le rendement de la machine. Montrer qu'il existe un rendement maximum.
5. Sur l'évolution 1 – 2, l'eau est assimilée à un gaz parfait pour lequel $\gamma = 1,20$.
 - a) Calculer le volume V_2 de l'eau au point 2
 - b) Calculer la température T_1 et le volume V_1 de l'eau au point 1.
 - c) Calculer la capacité thermique molaire à volume constant de la vapeur d'eau.
 - d) Calculer le travail W_{12} reçu par l'eau au cours de l'évolution 1 – 2.
6. Calculer le travail W_{23} et la chaleur Q_{23} reçus par l'eau au cours de l'évolution 2 – 3, on négligera le volume massique de l'eau liquide.
7. Justifier que $T_3 \approx T_4$ et que le travail sur 3 – 4 est nul.
8. Calculer le travail W_{41} .
9. Calculer le travail W sur le cycle, en déduire Q_{41} . Calculer alors le rendement et le rendement maximal.
10. Quelles sont les causes possibles d'irréversibilité ?

