

TD Thermodynamique 03 : Second principe, Bilans d'entropie

Exercice 1 – Évolution monotherme d'un gaz

Une mole d'hélium, assimilé à un gaz parfait monoatomique, est contenue dans un récipient indéformable dont la paroi est un très bon conducteur thermique. Le gaz est initialement à la température $T_0 = 300$ K. Le récipient est plongé dans un thermostat de température $T_1 = 273$ K. Déterminez puis calculez la variation d'entropie ΔS du gaz entre l'état initial et l'état final, ainsi que l'entropie échangée S_e et l'entropie créée S_c .

Exercice 2 – Bilan entropique dans un calorimètre

Dans un calorimètre, de capacité thermique négligeable, on mélange une masse $m_1 = 1,0$ kg d'eau à $\theta_1 = 20^\circ\text{C}$ et une masse $m_2 = 0,40$ kg à la température $\theta_2 = 90^\circ\text{C}$. Le calorimètre est parfaitement calorifugé et on suppose sa valeur en eau nulle. On donne la capacité thermique massique de l'eau liquide $c = 4,18$ kJ.kg⁻¹.K⁻¹

1. Calculez la température d'équilibre T_f du système dans le calorimètre.
2. Calculez l'entropie créée S_c au cours de la transformation et interprétez son signe.

Exercice 3 – Compression réversible d'un gaz

Un gaz parfait de coefficient $\gamma = 1,4$ est placé dans un cylindre à l'intérieur duquel un piston peut coulisser sans frottements un piston de masse négligeable. On note P_0 et T_0 la pression et la température atmosphériques. À l'état initial, le gaz, à la température $T_1 = T_0$ occupe le volume V_1 . La paroi du cylindre est diathermane. Elle conduit donc la chaleur. En appuyant sur le piston, un opérateur augmente très lentement la pression jusqu'à la pression $P_2 = 10$ bar. Dans l'état d'équilibre final, le gaz occupe un volume V_2 à la température T_2 . On dispose des données suivantes : la constante des gaz parfaits $R = 8,314$ J.K⁻¹.mol⁻¹, $P_0 = 1,0$ bar, $V_1 = 5,0$ L, $T_0 = 293$ K.

1. Calculez V_2 et T_2 .
2. Exprimez littéralement puis calculez la variation d'énergie interne et d'enthalpie, puis le transfert thermique et le travail échangés par le gaz avec l'extérieur au cours de la transformation.
3. Déterminez la variation d'entropie du gaz, puis l'entropie échangée et l'entropie créée.

Exercice 4 – Détente de la vapeur d'eau

Dans une machine à vapeur, au cours de la phase motrice, une mole de vapeur d'eau se détend dans un cylindre calorifugé et fermé de l'état A ($P_A = 40$ bar, $T_A = 773$ K) jusqu'à l'état B ($P_B = 1,0$ bar, $T_B = 373$ K). On extrait des tables thermodynamiques les valeurs suivantes :

	V_m (m ³ .mol ⁻¹)	U_m (kJ.mol ⁻¹)	S_m (kJ.K ⁻¹ .mol ⁻¹)
A	$1,556 \cdot 10^{-3}$	55,77	0,1275
B	$3,060 \cdot 10^{-2}$	45,08	0,1325

1. Calculez le travail reçu par la vapeur d'eau au cours de son évolution. Celle-ci est-elle réversible ?
2. On réalise une même détente réversible entre les états A et B, représentée par une évolution rectiligne dans le diagramme entropique (T, S). Déterminez le transfert thermique Q et le travail W échangés par le système avec l'extérieur au cours de cette détente.

Exercice 5 – Détente de Joule Gay-Lussac

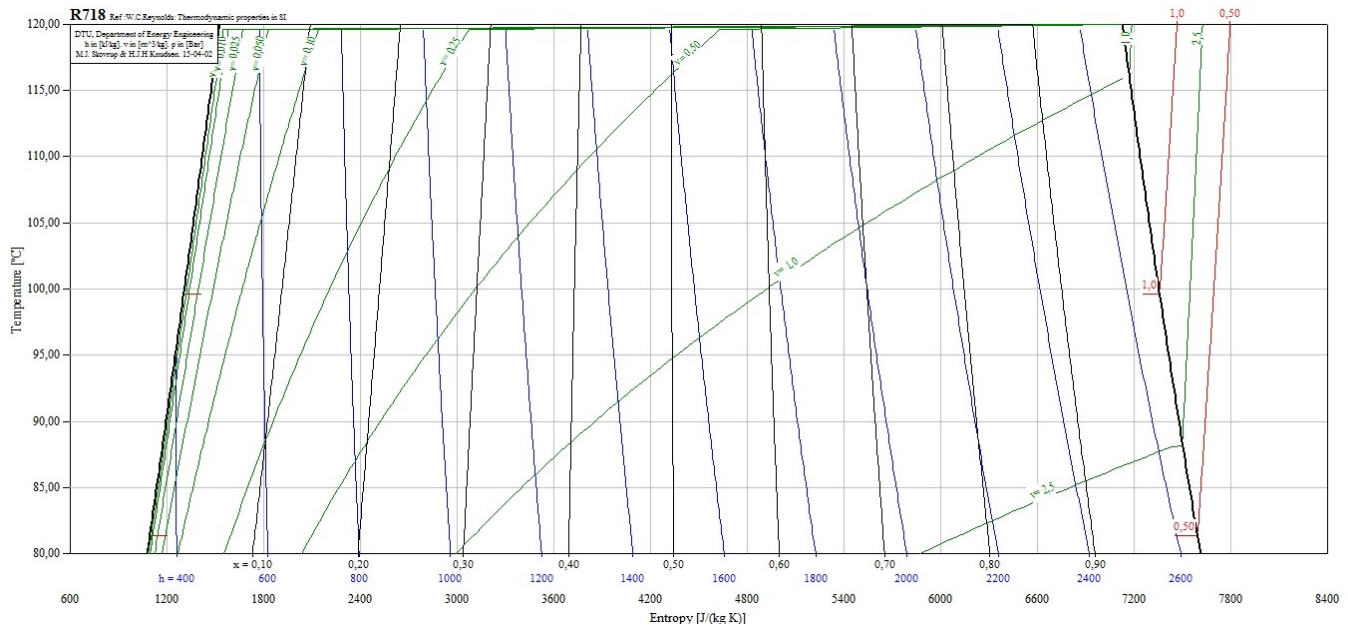
On considère un récipient rigide aux parois calorifugées divisé en deux compartiments de volumes V_1 et V_2 . Initialement, un des compartiment est rempli d'un gaz assimilable à un gaz parfait de coefficient γ tandis que le second compartiment est vide. À $t = 0$, on retire la paroi séparant les deux compartiments.

1. Déterminez la variation d'entropie du système en fonction de $x = V_2/V_1$.
2. Que peut-on dire de l'entropie créée lorsque x est négligeable devant 1 ?

$$\text{Donnée : } \Delta S = \frac{nR}{\gamma-1} \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) + nR \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = \frac{nR}{\gamma-1} \ln\left(\frac{T_2 V_2^{\gamma-1}}{T_1 V_1^{\gamma-1}}\right)$$

Exercice 6 – Chauffage isochore d'un binaire

Une enceinte de volume total $V = 1,0 \text{ L}$ contient $m_v = 0,60 \text{ g}$ de vapeur d'eau et $m_l = 0,40 \text{ g}$ d'eau liquide en équilibre à la température $T_0 = 100 \text{ °C}$. On chauffe ce mélange à la température $T_1 = 110 \text{ °C}$ pour laquelle la pression de vapeur saturante vaut $P_{\text{sat}1} = 1,4 \text{ bar}$. À l'aide du diagramme entropique fourni, répondez aux questions suivantes.



1. Quelle est la nouvelle composition du système ?
2. Quel transfert thermique a-t-il fallu fournir au système pour passer d'un état à l'autre ?
3. Quelle est la variation d'entropie du système ?
4. Montrez que la fonction $U-T_1S$ a diminué au cours de la transformation, puis déterminez l'entropie créée au cours de celle-ci.

Corrigés

Exercice 1

$$\Delta S = -1,18 \text{ J.K}^{-1} ; S_c = -1,23 \text{ J.K}^{-1}$$

$$S_c = 0,065 \text{ J.K}^{-1}$$

Exercice 2

1. $T_f = 40 \text{ °C}$
2. $S_c = 28,2 \text{ J.K}^{-1} > 0$

Exercice 3

1. $T_2 = T_0 ; V_2 = V_1/10$
2. $\Delta H = \Delta U = 0 ; W = P_0 V_1 \ln(10)$
 $W = 1,15 \text{ kJ} ; Q = -W$
3. $S_c = Q/T_0 = -3,93 \text{ J.K}^{-1}$
 $\Delta S = -\frac{P_0 V_1}{T_0} \ln(10) = -3,93 \text{ J.K}^{-1}$

Exercice 4

1. $W = -10,69 \text{ kJ}$
2. $Q = \frac{T_A + T_B}{2} (S_B - S_A) = 2,87 \text{ kJ}$
 $W = -13,6 \text{ kJ}$

Exercice 5

$$\Delta S = nR \ln(1+x) \approx nR x$$

Exercice 6

1. $x = 0,83$
2. $Q = \Delta U = m\Delta H - mv\Delta P$
 $Q = 0,49 \text{ kJ}$
3. $\Delta S = 1,3 \text{ J.K}^{-1}$
4. $\Delta(U-T_1S) = -T_1 S_c$