TD23 – Second principe de la thermodynamique

EXERCICE 1 : Étude d'une compression (⋆)

Un gaz parfait diatomique (n moles) est contenu dans une enceinte dont les parois sont calorifugées. Une des parois est libre de se déplacer sans frottement, et est en contact avec une pression extérieure P_e. Initialement, le gaz est à l'équilibre thermodynamique. On augmente alors très lentement la pression extérieure, d'une valeur initiale P_1 jusqu'à une valeur finale P_2. Le volume du gaz passe alors d'une valeur initiale V_1 à une valeur finale V_2.

1. Exprimer la variation d'énergie interne du gaz entre l'état initial et l'état final en fonction de γ, P_1, P_2, V_1 et V_2.
2. Exprimer le travail reçu par le gaz durant la transformation, en fonction de γ, P_1, P_2, V_1 et V_2.
3. On suppose que le gaz est initialement à 0°C. Sachant que $V_2 = V_1/3$, calculer la température finale du gaz.

EXERCICE 2 : Entropie d'une phase condensée (⋆)

La table thermodynamique ci-dessous donne les valeurs de l'entropie massique de l'eau liquide s à différentes températures sous la pression atmosphérique.

T (K)	300	320	340	350
s (J.g^{-1}.K^{-1})	0,395	0,664	0,918	1,039

1. Exprimer la variation d'entropie massique Δs pour l'évolution d'une phase condensée de la température T_1 à la température T_2 en fonction de T_1, T_2 et c la capacité thermique massique supposée indépendante de T. On rappelle que pour une phase condensée : $S(T) = S_0 + C\ln\left(\frac{T}{T_0}\right)$.

2. Vérifier l'accord entre la table et le modèle utilisé ci-dessus en calculant en J.K^{-1}.g^{-1} la variation d'entropie massique lorsque l'eau à 300 K atteint successivement les températures 320 K, 340 K, 350 K.

On donne $c_{\text{eau}} = 4,18\,\text{J.K}^{-1}.\text{g}^{-1}$. On présentera les résultats dans un tableau avec 3 chiffres significatifs. Conclure.

EXERCICE 3 : Calorimétrie (⋆)

On introduit une bille de plomb, de masse $m_b = 300\,\text{g}$ et de température $T_b = 400\,\text{K}$ dans 2 décilitres d'eau à température $T_e = 280\,\text{K}$. On considère l'ensemble $\Sigma = \{\text{bille-eau}\}$ comme un système isolé.

On donne les capacités thermiques massiques de l'eau et du plomb, respectivement :

$$c_e = 4.2 \times 10^3\,\text{J}\,\text{K}^{-1}\,\text{kg}^{-1} \text{ et } c_b = 150\,\text{J}\,\text{K}^{-1}\,\text{kg}^{-1}$$

On admet qu'elles sont indépendantes de la température. On donne de plus la masse volumique de l'eau, supposée elle aussi indépendante de la température : $\rho_e = 1.0 \times 10^3\,\text{kg}\,\text{m}^{-3}$.

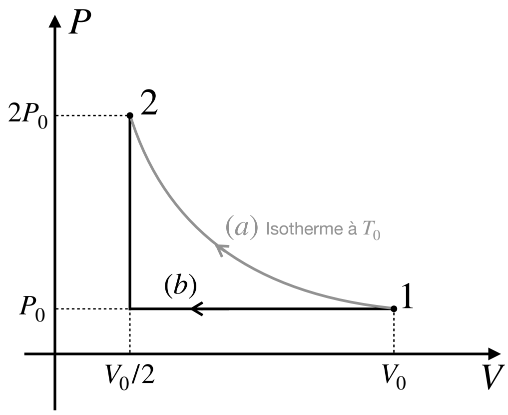
1. Déterminer, puis calculer, la température finale T_f d'équilibre.
2. Exprimer le transfert thermique Q_b reçu par la bille seule au cours de la transformation qui l'amène de la température T_b à la température T_f. Faire l'application numérique.
3. Exprimer le transfert thermique Q_e reçu par l'eau seule au cours de la transformation qui l'amène de la température T_e à la température T_f. Faire l'application numérique.
4. On rappelle la formule donnant la variation d'entropie pour un corps pur, incompressible de capacité thermique massique c et de masse m :

$$\Delta S = S(T_f) - S(T_i) = mc\ln\left(\frac{T_f}{T_i}\right).$$

Établir la variation d'entropie ΔS_Σ ainsi que l'entropie créée S_c pour le système Σ = {bille-eau} puis réaliser l'application numérique. Le signe de S_c était-il prévisible ?

EXERCICE 4 : Transfo. réversible, spontanée ou impossible (⋆)

Une mole de gaz parfait monoatomique passe de l'état 1 à l'état 2 selon des transformations mécaniquement réversibles en empruntant le chemin (a) ou le chemin (b).



1. Exprimer la variation d'énergie interne pour chaque chemin.
2. Exprimer le travail transféré et le transfert thermique pour chaque chemin.
3. Supposons que le gaz effectue la transformation cyclique $1 \xrightarrow{(b)} 2 \xrightarrow{-(a)} 1$. A-t-on un moteur ou un récepteur (on pourra étudier le travail reçu sur un cycle) ?
4. Calculer la variation d'entropie pour chaque chemin.
5. Calculer l'entropie créée sur le chemin (a) en sachant que le transfert thermique s'effectue avec un thermostat à la température T_0.
6. Calculer la quantité $\Delta S - \frac{Q_b}{T_0}$, avec Q_b le transfert thermique reçu sur le chemin (b). Commenter son signe.

EXERCICE 5 : Contact thermique (⋆⋆)

Un corps de capacité calorifique mc_p passe de la température initiale T_0 à la température finale $T_f = T_N$, par contacts successifs avec une suite de N sources de chaleur, de température T_i, étagées entre T_0 et T_f. On prendra $\dfrac{T_{i+1}}{T_i} = \alpha$ indépendant de i.

Calculer l'entropie totale créée S_c en fonction de mc_p, α et N.
(⋆⋆⋆) Étudier S_c pour $N \to +\infty$.

EXERCICE 6 : Cuisson de frites (⋆⋆)

On plonge 300 g de frites (de pommes de terre ou de plantains selon les goûts) à température $T_{F0} = 0\,°C$ dans un bain d'huile de 2,00 L à la température initiale $T_{H0} = 180\,°C$.

Données : $c_{\text{huile}} = 4.80\,\text{kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$, $c_{\text{frite}} \approx c_{\text{eau}} = 4,20\,\text{kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$, $\rho_{\text{huile}} = 920\,\text{g/L}$.

Dans un premier temps, la température de l'ensemble s'homogénéise jusqu'à la valeur T_1. On néglige les transferts thermiques avec l'extérieur durant cette transformation.

1. Déterminer l'expression de T_1 et effectuer l'application numérique.
2. Déterminer et calculer l'entropie créée durant cette étape.

Afin d'assurer la cuisson, la résistance électrique de la friteuse se remet à chauffer avec une puissance $P = 1500\,\text{W}$, elle s'éteint dès que la température atteint T_{H0}. On suppose que la température de la résistance est égale à celle de l'huile T_{H0}.

3. Déterminer la capacité thermique de l'ensemble {huile+ frites}.
4. Combien de temps la friteuse va-t-elle rester allumée ?
5. Déterminer et calculer l'entropie créée durant cette période.

EXERCICE 7 : Étude d'un cycle thermodynamique (⋆ ⋆ ⋆)

Un gaz parfait de quantité de matière constante n et caractérisé par un rapport $\gamma = \frac{C_P}{C_V} = 1,4$ parcourt un cycle constitué des transformations suivantes :
- ▷ AB : compression adiabatique réversible
- ▷ BC : détente isotherme réversible
- ▷ CA : isochore en contact avec un thermostat à la température extérieure $T_e = T_A$

On donne $P_A = 1.0\,\text{bar}$, $V_A = 500\,\text{cm}^3$, $T_A = 100\,\text{K}$ et $T_B = 300\,\text{K}$.

1. Tracer l'allure de ce cycle dans le diagramme de Clapeyron (P, V_m). On prendra soin de comparer la pente d'une courbe décrivant une évolution adiabatique réversible à celle d'une isotherme.

2. Calculer P_B, V_B et P_C en fonction de P_A, V_A, T_A, γ et T_B.

3. Pour chaque transformation, calculer la variation d'entropie, l'entropie échangée et l'entropie créée. Exprimer ces quantités en fonction de n, R, γ, T_A et T_B uniquement.

4. En posant $\epsilon = \frac{T_B}{T_A} - 1$, vérifier que l'entropie créée est positive ou nulle pour chaque étape.