

I Exercices uniquement

T4 Premier principe de la thermodynamique

II Cours et exercices

T5 Second principe de la thermodynamique

I **L'entropie** : description statistique, irréversibilité, second principe et cas particuliers.

II **Expressions de l'entropie** : (HP) identités thermodynamique et expressions de dS ; phases condensées et application au mélange ; gaz parfait et application isochore ou isobare, loi de LAPLACE ; changement d'état et application calorimétrie.

III Cours uniquement

T6 Machines thermiques

I **Introduction** : définition et performance, équations de fonctionnement, machines monothermes.

II **Machines dithermes** : diagramme de RAVEAU, moteur ditherme, machines frigorifiques et pompes à chaleur, théorèmes de CARNOT.

III **Applications** : cycle moteur de CARNOT, présentation cycle BEAU DE ROCHAS, utilisation des changements d'états (diagramme des frigoristes et cas pratiques).

Données

Pour un système fermé, de température T , de pression P et de volume V subissant une transformation entre deux états d'équilibre (i) et (f), la variation d'entropie est :

◇ pour un gaz parfait,

$$\Delta S = C_V \ln \frac{P_f}{P_i} + C_P \ln \frac{V_f}{V_i}$$

ou

$$\Delta S = C_V \ln \frac{T_f}{T_i} + nR \ln \frac{V_f}{V_i}$$

ou

$$\Delta S = C_P \ln \frac{T_f}{T_i} - nR \ln \frac{P_f}{P_i}$$

◇ pour une phase condensée,

$$\Delta S = C \ln \frac{T_f}{T_i}$$

IV Questions de cours possibles

T5 Second principe de la thermodynamique

- 1 Définir macro-état, micro-état et nombre de configuration (Df.T5.1). À partir de l'exemple des particules dans l'expérience de JOULE GAY-LUSSAC, présenter l'origine statistique de l'irréversibilité en traçant l'évolution de la probabilité des macro-états (I|A). Donner la formule de BOLTZMANN et l'interpréter (Df.T5.2, Itp.T5.1).
- 2 Présenter ce qu'on appelle une transformation réversible et irréversible (Ipt.T5.1) et donner des exemples (I|B et Ex.T5.1). Énoncer le second principe de la thermodynamique (Ipt.T5.2). Appliquer le second principe dans les cas particuliers des transformations cyclique, adiabatique, mono- et polytherme (Ipl.T5.1). Qu'est-ce qu'une transformation isentropique (Df.T5.3) ?
- 3 Énoncer la loi de LAPLACE (sous ses 3 formes) en précisant ses conditions d'application (L.T5.1). Comment qualifier ces transformations en terme d'entropie (Df.T5.3) ? À partir d'une expression de l'entropie pour un GP (rappelée par l'interrogatoire), démontrer l'une d'entre elle (Prv.T5.1). Retrouver les deux autres à partir de celle-ci (Dm.T3.5).
- 4 (Ap.T5.2) Soit un gaz parfait passant de l'état initial $I (T_i, P_i, V_i = V_0)$ à un état final $F (T_f, P_f, V_f)$ en le mettant en contact avec un thermostat de température $T_{\text{ext}} = T_f$.
 - 1 Déterminer ΔS , S_{ech} et S_{cr} en fonction de C_V et $x = \frac{T_i}{T_f}$ pour une transformation **isochore**. Conclure réversibilité (ou non) de la transformation par un raisonnement mathématique, justifier physiquement.
 - 2 Reprendre les questions pour une transformation **isobare** et monotherme.
- 5 (Ap.T5.3) On place $m_0 = 40$ g de glaçons à $T_0 = 0^\circ\text{C}$ dans $m_1 = 300$ g d'eau à $T_1 = 20^\circ\text{C}$ à l'intérieur d'un calorimètre de capacité $C = 150 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$. Les glaçons fondent entièrement et il reste de l'eau à $T_f = 282,5 \text{ K}$. **Faire un schéma** puis déterminer l'entropie créée et conclure sur sa réversibilité. On donne $\ell_{\text{fus}} = 330 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

T6 Machines thermiques

- 6 Présenter le principe général des machines thermiques grâce à un diagramme synoptique et aux 2 relations de fonctionnement (Pt et Dm.T6.1). Pourquoi ne peut-on pas réaliser de moteur monotherme (Dm.T6.2) ? Construire le diagramme de RAVEAU pour les machines dithermes, en précisant les domaines des moteurs et des réfrigérateurs (Pt et Dm.T6.3).
- 7 Présenter le moteur ditherme, le réfrigérateur ou la pompe à chaleur (au choix de l'interrogatoire), en différenciant les sens conventionnel et réel des échanges sur le schéma de fonctionnement (Ipt.T6.1, 2 ou 3). Définir son coefficient de performance thermodynamique, et établir l'expression du théorème de CARNOT associé (Prv.T6.1, 2 ou 3) puis un ordre de grandeur des valeurs idéales et réelles (Odg.T6.1, 2 ou 3).
- 8 (Ap.T6.1) Déterminer l'expression de l'efficacité (ou COP) de la pompe à chaleur en fonction de T_C et T_F , de l'entropie créée au cours d'un cycle de fonctionnement que l'on notera S_{cr} , et de \mathcal{W} .
- ★ 9 (Ap.T6.2) Cycle de CARNOT : définir les transformations, traduire le vocabulaire associé, le dessiner dans un diagramme (P, V) en précisant et justifiant Q_C et Q_F , tracer le schéma de la machine. Définir le rendement, exprimer les travaux et transferts thermiques en fonction de $\alpha = V_B/V_A$, en déduire l'expression finale du rendement. Montrer ensuite à l'aide des expressions données de l'entropie que ce cycle est réversible par un bilan d'entropie.
- ★ 10 (Ap.T6.3) Cycle frigorifique de RANKINE. On fait subir à un fluide frigorigène un cycle de RANKINE dont les différentes étapes sont modélisées dans la Figure ci-après.

- 0 Présenter le cycle de transformation (description, modélisation) que subit un fluide frigorigène dans le cycle de RANKINE.
- 1 Dessiner le cycle dans les diagrammes ($\log P, \log v$) et ($\log P, h$). Justifier la pente de la transformation AB en ($\log P, \log v$).
- 2 Exprimer l'efficacité du cycle en terme de q_f et w , puis en terme d'enthalpies ensuite. La calculer.
- 3 Comparer à l'efficacité de CARNOT ; commenter.

On donne $T_B = 60^\circ\text{C}$, $h_A = 402 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, $h_B = 436 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ et $h_D = 248 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

