

I Exercices uniquement

T3 Premier principe de la thermodynamique

II Cours et exercices

T4 Second principe de la thermodynamique

- I **L'entropie** : statistique et entropie de BOLTZMANN, irréversibilité et causes.
- II **Second principe** : énoncé, cas particuliers (cyclique, adiabatique, monotherme, polytherme, isentropique)
- III **Expressions de l'entropie** : (HP) identités thermodynamique et expressions de dS , phases condensées et application au mélange, gaz parfait, loi de LAPLACE.
- IV **Applications** : méthode de bilans d'entropie, application gaz parfait en transformation isochore monotherme puis et isobare monotherme.

T5 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** : cogénération, cycle moteur de CARNOT, cycle BEAU DE ROCHAS.

III Cours uniquement

T6 Changements d'états

- I **Équilibres diphasés** : diagramme (P,T) et systèmes monovariants + pression de vapeur saturante, diagramme (P,v) : construction d'une isotherme d'ANDREWS, présentation du diagramme, théorème des moments, application au stockage des fluides.
- II **Thermodynamique des transitions de phase** : enthalpies de changement d'état, représentation (T,Q) du chauffage d'une masse de glace, méthode de résolution et application à la calorimétrie ; entropie de changement d'état (démonstration) et application à la calorimétrie.
- III **Application aux machines thermiques** : présentation de l'intérêt, description d'une machine frigorifique : cycle de RANKINE diagramme $(\log P, \log v)$ et diagramme des frigoristes $(\log P, \log h)$, calcul du rendement ; fonctionnement d'une pompe à chaleur.

Exercices

Les machines thermiques avec changements d'états simples ou guidés dans leur résolution sont autorisés et même **bienvenus**. En revanche, pas d'exercice spécifique sur les équilibres diphasés cette semaine (recherche d'état final par hypothèse/test).

IV Questions de cours possibles

T4 Second principe de la thermodynamique

- 1 Présenter ce qu'on appelle une transformation réversible et irréversible (Pt.T4.1) et donner des exemples (I|B et Ex.T4.1). Énoncer le second principe de la thermodynamique (Pt.T4.2). Appliquer le second principe dans les cas particuliers des transformations cyclique, adiabatique, mono- et polytherme (Ipl.T4.1). Qu'est-ce qu'une transformation isentropique (Df.T4.3) ?
- 2 Énoncer la loi de LAPLACE (sous ses 3 formes) en précisant ses conditions d'application (L.T4.1). Comment qualifier ces transformations en terme d'entropie (Df.T4.3) ? À partir d'une expression de l'entropie pour un GP (rappelée par l'interrogatoire), démontrer l'une d'entre elle (Prv.T4.1). Retrouver les deux autres à partir de celle-ci (Dm. T2,5).
- 3 (Ap.T4.2) Soit un gaz parfait passant de l'état initial I à l'état final F en contact avec un thermostat à $T_{\text{ext}} = T_f$. Pour une transformation isochore, déterminer l'entropie créée et tracer l'expression obtenue avec $x = \frac{T_i}{T_f}$, et conclure sur la nature de la transformation.

T5 Machines thermiques

- 4 Présenter le principe général des machines thermiques grâce à au schéma et aux 2 relations de fonctionnement (Pt et Dm.T5.1). Pourquoi ne peut-on pas réaliser de moteur monotherme (Dm.T5.2) ? Construire le diagramme de RAVEAU pour les machines dithermes, en précisant les domaines des moteurs et des réfrigérateurs (Pt et Dm.T5.3).
- 5 Présenter le moteur ditherme, le réfrigérateur **ET** la pompe à chaleur, en différenciant les sens conventionnel et réel des échanges sur le schéma de fonctionnement (Ipt.T5.1, 2 ou 3). Définir les 3 coefficients de performance thermodynamique et donner des ordres de grandeurs (Odg.T5.1, 2 et 3), et établir l'expression du théorème de CARNOT associé pour l'**UNE** d'entre elle (Pt et Dm.T5.4, 5 ou 6).
- ★ 6 (Ap.T5.1) 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.

T6 Changements d'états

- 7 Présenter les diagrammes (P,T) (Df.T6.2). Pour celui de l'eau, tracer et expliquer une transformation isobare à $P = 1$ bar à partir de $T = 0^\circ\text{C}$, et une transformation isotherme à $T = 100^\circ\text{C}$ (Fig.T6.1 et 2). Qu'est-ce qu'un système monovariant (Ipt.T6.1) ? Construire une isotherme d'ANDREWS du diagramme (P,v) en présentant succinctement l'expérience de cours (T6|I/B)1-), et présenter le diagramme (P,v) complet d'un équilibre liquide-gaz (Df.T6.4).
- 8 Énoncer et démontrer le théorème des moments (Pt et Dm.T6.1). Présenter l'application et les précautions à prendre dans le cas du stockage de fluides (Pt et Dm.T6.2).
- 9 Présenter les variations d'enthalpie et d'entropie lors d'une transition de phase (Df.T6.6, Pt et Dm.T6.3). Justifier alors la cohérence du signe des Δh (Rq.T6.2). Comment appelle-t-on une transformation de $\Delta h > 0$? < 0 (Ipt.T6.3) ? Refaire la figure de l'évolution de la température d'une masse d'eau sous 1 bar commençant à -20°C en fonction de l'énergie apportée (Itp.T6.1).
- 10 (Ap.T6.2 et 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 $C = 150 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$. Déterminer la température d'équilibre T_f , sachant que $c_{\text{eau}} = 4185 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ et $\Delta h_{\text{fus}} = 330 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, puis l'entropie créée. On donne $\Delta S^{\text{cond}} = mc \ln(T_f/T_i)$.
- ★ 11 (Ap.T6.4) Cycle frigorifique de RANKINE. On donne $T_f = -7^\circ\text{C}$, $T_c = 39^\circ\text{C}$ et $T_B = 60^\circ\text{C}$, $h_A = 402 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, $h_B = 436 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ et $h_D = 248 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

- 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 (P,v) et (P,h) . Justifier la pente de la transformation AB en (P,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.