Chapitre 20 – Deuxième principe

Plan du cours

Ce qu'il faut savoir et savoir faire

→ Définir un système fermé et établir pour ce système un bilan entropique.
→ Relier la création d'entropie à une ou plusieurs causes physiques de l'irréversibilité.
→ Analyser le cas particulier d'un système en évolution adiabatique.
→ Utiliser l'expression fournie de la fonction d'état entropie.
→ Exploiter l'extensivité de l'entropie.
→ Citer et utiliser la loi de Laplace et ses conditions d'application.

Questions de cours

→ Énoncer complètement le second principe : propriétés de l'entropie, bilan d'entropie et expliciter les différents termes.
→ Citer la loi de Laplace pour un gaz parfait et ses conditions d'application. L'établir, l'expression de l'entyropie d'un GP étant donnée.
→ Application : mise en contact de deux systèmes à des température différentes (App. 4).
→ Application : détente de Joule – Gay-Lussac (App. 8).
→ Application : effet Joule (App. 9).

Applications

Application 1 – Transformation adiabatique

1. Que peut-on dire de la variation d'entropie d'un système qui subit une transformation adiabatique ?
2. Et s'il subit une transformation adiabatique et réversible ?

Application 2 – Compression isotherme réversible

On considère une quantité de matière n de gaz parfait, qui subit une compression au cours de laquelle son volume passe de V_0 à V_f. Le système est en contact avec un thermostat à la température T_0. La transformation est suffisamment lente, de sorte qu'elle est supposée isotherme et réversible.

1. Que peut-on dire de la variation d'énergie interne ΔU du gaz ?
2. Exprimer le travail W reçu par le gaz.
3. En déduire le transfert thermique reçu Q par le gaz.
4. Exprimer la variation d'énergie interne ΔS.

Application 3 – Entropie d'un gaz parfait

L'entropie d'un échantillon de gaz parfait (n moles), de coefficient isentropique γ, en fonction des variables d'état T et P s'exprime

$$S(T,P) = \frac{nR\gamma}{\gamma - 1} \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) - nR\ln\left(\frac{P}{P_0}\right) + S_0,$$

où S_0 est l'entropie dans l'état (T_0, P_0).

1. Exprimer l'entropie du gaz, en fonction des variables T et V.
2. De même, en fonction des variables P et V.
3. Commenter l'évolution de l'entropie en fonction de T, V et P.

Application 4 – Égalisation des températures de deux systèmes

Dans une enceinte calorifugée, on met en contact thermique deux systèmes $\mathcal{S}_1$ et $\mathcal{S}_2$ constitués chacun d'un gaz parfait, de températures respectives T_1 et T_2 et de capacités thermiques à pression constante respectives C_{p1} et C_{p2}. La transformation est isobare.

1. Déterminer la température finale des deux systèmes.
2. Exprimer l'entropie créée lors de la transformation.

Application 5 – Pompe de vélo

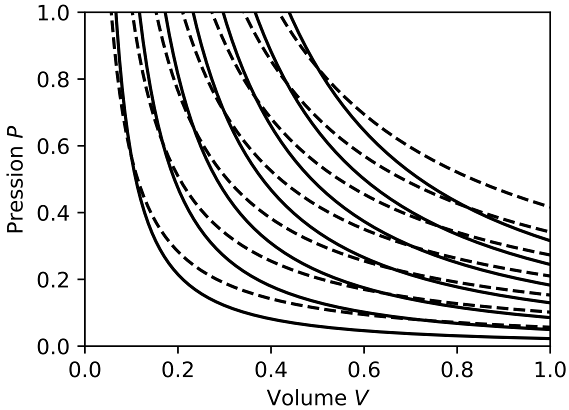
On considère une chambre à air de vélo de volume $V_c = 1{,}2\,\text{L}$ que l'on connecte à une pompe à vélo contenant un volume d'air $V_p = 0{,}2\,\text{L}$. L'ensemble étant initialement à la température $T_{\text{ext}} = 15\,°\text{C}$, on pousse la pompe pour faire entrer tout l'air dans l'unique volume de la chambre à air.

1. Justifier que la transformation peut-être considérée adiabatique et réversible.
2. Déterminer la variation de température de l'air.
3. Comment l'interpréter à l'aide du premier principe ?

Application 6 – Adiabatique vs isotherme

On considère une quantité de matière n d'un gaz parfait de coefficient isentropique $\gamma = 1{,}4$. Initialement il occupe un volume V_0 et est à la pression P_0. Les transformations seront supposées réversibles.

1. Déterminer l'équation de la courbe associée à une transformation isotherme dans le diagramme de Clapeyron. Exprimer sa pente au point de coordonnée (P_0, V_0).
2. Même question pour une transformation adiabatique.
3. Identifier sur le graphe ci-contre les courbes (pleine ou pointillée) qui correspondent à des adiabatiques et celles qui correspondent à des isothermes.
4. Représenter dans le diagramme de Clapeyron un cycle de Carnot moteur, formé de deux isothermes et de deux adiabatiques réversibles.



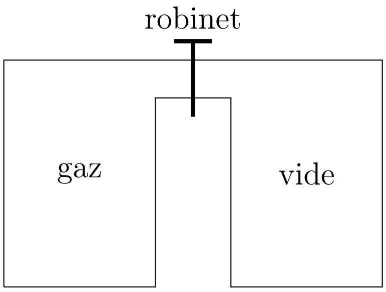
Application 7 – Refroidissement d'un solide

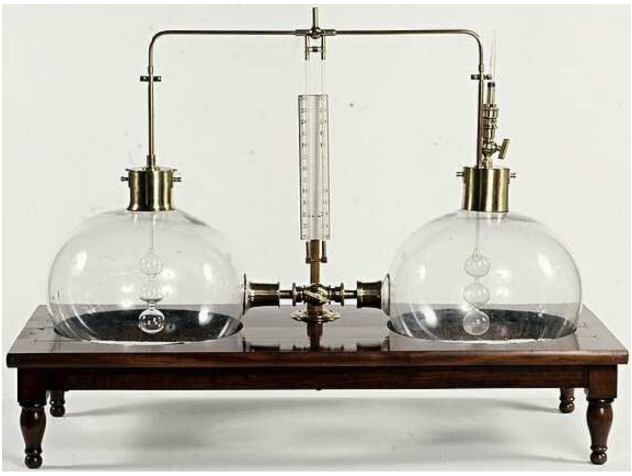
Un morceau de fer de $m = 2\,\mathrm{kg}$, chauffé à blanc (à la température de $T_i = 880\,\mathrm{K}$), est jeté dans un lac à $T_0 = 5\,°\mathrm{C}$.

1. Exprimer, puis calculer l'entropie créée. On donne la capacité calorifique massique du fer : $c_{\text{fer}} = 460\,\mathrm{J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}}$.
2. Quelle est la cause de cette création d'entropie ?

Application 8 – Détente de Joule – Gay-Lussac

« L'appareil à deux globes » est constitué de deux ballons en verre de même volume $V_0 \approx 14\,\mathrm{L}$, reliés entre eux par une tubulure de laiton munie d'un robinet. L'un des ballons peut être relié à une machine pneumatique permettant d'y faire le vide, ou à une réserve de gaz.





On suppose la demi-enceinte de droite initialement vide et le gaz dans la demi-enceinte de gauche à la température T_0. Lorsque l'on ouvre le robinet, le gaz se répand très rapidement dans le vide.

1. Justifier que l'on peut approximer la transformation du gaz comme étant adiabatique et sans travail échangé.
2. Exprimer le volume et la température finale du gaz V_f et T_f en fonction des valeurs initiales V_0 et T_0.
3. Déterminer l'entropie créée au cours de la transformation. Interpréter.

Application 9 – Chauffage par effet Joule

On considère une masse m d'eau de capacité thermique massique c, initialement à la température $T_i = 20\,°\mathrm{C}$, dans un calorimètre dont on néglige la valeur en eau. On plonge une résistance $R = 5\,\Omega$ (de capacité thermique négligeable), parcourue par un courant d'intensité $I = 1\,\mathrm{A}$ pendant $\tau = 1\,\mathrm{min}$ dans l'eau.

1. Établir l'expression de la température finale T_f. Faire l'application numérique.
2. Exprimer l'entropie créée. Conclure.
3. Que devient cette expression en supposant $T_f \approx T_i$, c'est-à-dire si $RI^2\tau \ll mcT_i$? Faire l'application numérique.

Donnée : on rappelle que l'entropie massique d'une phase condensée est donnée par

$$s(t) = c \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) + s_0,$$

où s_0 est l'entropie massique à la température T_0 et c la capacité thermique massique.