

# Second principe de la thermodynamique

Les exercices suivants ont pour objet l'application du second principe de la thermodynamique, qui pour une transformation infinitésimale (aussi appelée élémentaire) s'énonce comme suit :

$$dS = \delta S^r + \delta S^c, \quad (1)$$

où les deux termes du second membre représentent respectivement

- L'entropie échangée,

$$\delta S^r = \frac{\delta Q}{T}$$

- L'entropie créée, où
  - $\delta S^c = 0$  lors d'une transformation réversible,
  - $\delta S^c > 0$  lors d'une transformation irréversible.

## 1 Variation d'entropie d'un gaz parfait

1. Exprimer la variation élémentaire d'entropie d'un gaz parfait en fonction des variables indépendantes  $T$  et  $V$ .
2. En déduire la variation d'entropie d'une mole de gaz parfait lorsque l'on triple simultanément la température initiale et le volume initial du gaz. On exprimera le résultat en fonction de  $R$  et du coefficient adiabatique du gaz ( $\gamma$ ).

## 2 Compression isotherme irréversible de l'hélium

Une enceinte diatherme renferme  $n = 1$  mol d'hélium, considéré comme un gaz parfait, initialement à la pression  $P_1 = 1$  bar et à la température  $T_0 = 300$  K. L'enceinte est fermée par un piston, de section  $S = 10$  cm<sup>2</sup> et de masse négligeable. On pose une masse  $m = 10$  kg sur le piston. Le gaz est alors comprimé de façon irréversible. On note  $P_2$  la pression finale du gaz dans l'enceinte.

1. Faire un schéma qui illustre les états initial et final.
2. Calculer le rapport des pressions finale et initiale,  $x = P_2/P_1$ . Application numérique.
3. Effectuer le bilan énergétique. En déduire le travail et la chaleur reçus par le gaz en fonction de  $x$  et  $T_0$ . Application numérique.

4. Effectuer le bilan entropique du gaz. Commenter le signe de la variation d'entropie du gaz ainsi que celui de la création d'entropie. Application numérique.

### 3 Chaud-froid

Un objet chaud à  $T_c = 573\text{ K}$  est mis en contact avec un objet froid à  $T_f = 273\text{ K}$ .  $Q_f = 20\text{ kJ}$  de chaleur sont transférés irréversiblement du premier au second. Leurs températures sont maintenues constantes. De combien l'entropie de l'Univers a-t-elle varié ?

### 4 Contact thermique

On considère deux blocs identiques d'un même métal indéformable, de masse  $m$ , de chaleur spécifique massique  $c$ , placés chacun dans un compartiment dans une enceinte adiabatique. Les deux compartiments sont séparés par une cloison adiabatique. Initialement, les blocs sont à des températures différentes, notées  $T_1$  et  $T_2$  (on supposera  $T_1 > T_2$ ). On retire la cloison et on laisse les blocs atteindre l'équilibre thermique.

1. Faire un schéma qui illustre les états initial et final.
2. Calculer la température finale des blocs.
3. Calculer la variation d'entropie de chacun des blocs lors de cette transformation. Commenter leurs signes.
4. Calculer la variation d'entropie du système des deux blocs. Commenter son signe.

### 5 Détente de Joule d'un gaz parfait

On considère une enceinte rigide adiabatique constituée de deux compartiments de volumes  $V_1$  et  $V_2$ . Les deux compartiments sont séparés par une paroi diatherme fermée par un robinet. Initialement, le robinet est fermé, le compartiment 1 contient  $n$  moles de gaz parfait, le compartiment 2 est sous vide. On ouvre le robinet et on laisse le gaz se détendre librement dans l'enceinte.

1. Faire un schéma qui illustre les états initial et final.
2. Faire le bilan énergétique de cette transformation.
3. Faire le bilan entropique de cette transformation. Commenter le signe.

### 6 Variation d'entropie d'une masse d'eau

On considère un système de  $m = 1\text{ kg}$  d'eau à l'état liquide, à la pression atmosphérique et à la température  $T_0 = 0^\circ\text{C}$ . Ce système est mis en contact avec une source de chaleur à  $T_N = 100^\circ\text{C}$  tout en étant maintenu à la pression atmosphérique. On donne la chaleur massique de l'eau :  $c_P = 1000\text{ cal K}^{-1}\text{ kg}^{-1}$ .

1. Quelle est l'entropie totale créée lorsque l'eau atteint la température  $T_N$  tant qu'elle reste à l'état liquide ? Application numérique.
2. Si on avait chauffé l'eau en deux étapes, de  $0^\circ\text{C}$  à  $50^\circ\text{C}$  au contact d'une source à  $50^\circ\text{C}$ , puis de  $50^\circ\text{C}$  à  $100^\circ\text{C}$  au contact avec une seconde source à  $100^\circ\text{C}$ , quelle aurait été l'entropie totale créée ?
3. En vous inspirant de ce résultat, expliquer comment il faudrait opérer pour chauffer l'eau de  $0^\circ\text{C}$  à  $100^\circ\text{C}$  sans accroître l'entropie de l'Univers.