Descriptions microscopique et macroscopique des systèmes thermodynamiques

□ Exercice 23.1. Pression des pneus ★ (Equation d'état des gaz parfaits)

La pression préconisée sur les roues avant d'une Mégane est de 2,2 bar. J'ai réglé la pression des pneus de ma voiture un jour froid cet hiver, par une température extérieure de −5 °C.

1 - En supposant que le volume des pneus ne varie pas et qu'il n'y a aucune fuite d'air possible, quelle sera l'indication du manomètre un jour chaud cet été, par une température extérieure de 30 °C ?

2 - Calculer la variation relative de pression due au changement de température. Que me conseilleriez-vous ?

□ Exercice 23.2. Fuite d'hélium ★★ (Gaz parfaits, vitesse quadratique moyenne)

On considère une bouteille de volume constant $V = 10\,\mathrm{L}$ contenant de l'hélium, modélisé comme un gaz parfait monoatomique, à la pression $p = 2{,}1$ bar et à la température $T = 300\,\mathrm{K}$.

Données : masse molaire de l'hélium $M = 4{,}0\,\mathrm{g \cdot mol^{-1}}$, constante de Boltzmann $k_B = 1{,}38 \cdot 10^{-23}\,\mathrm{J \cdot K^{-1}}$.

1 - Calculer la masse m d'hélium contenue dans la bouteille et la densité particulaire $n^\star$, c'est-à-dire le nombre d'atomes par unité de volume.

2 - Calculer la vitesse quadratique moyenne des atomes.

3 - À la suite de l'ouverture de la bouteille, la pression passe à $p' = 1{,}4$ bar et la température à $T' = 290\,\mathrm{K}$. Calculer la masse Δm de gaz qui s'est échappé de la bouteille.

4 - À quelle température T'' faudrait-il porter le gaz pour atteindre à nouveau la pression p ?

□ Exercice 23.3. Existence d'une atmosphère ★★ (vitesse quadratique moyenne)

Pour qu'un système (molécule ... ou fusée) puisse s'échapper de l'attraction gravitationnelle d'un astre de masse m_0 et de rayon R_0, sa vitesse doit être supérieure à la *vitesse de libération*,

$$v_{\mathrm{lib}} = \sqrt{\frac{2\mathcal{G}m_0}{R_0}},$$

où $\mathcal{G} = 6{,}7 \cdot 10^{-11}\,\mathrm{m^3 \cdot kg^{-1} \cdot s^{-2}}$ est la constante de gravitation universelle.

1 - Calculer la vitesse de libération à la surface de la Terre ($6{,}0 \cdot 10^{24}$ kg, $6{,}4 \cdot 10^6$ m de rayon) et à la surface de la Lune ($7{,}3 \cdot 10^{22}$ kg, $1{,}7 \cdot 10^6$ m de rayon).

2 - Interpréter l'existence d'une atmosphère stable à la surface de la Terre. On ne considérera que le diazote ($M_{N_2} = 28\,\mathrm{g \cdot mol^{-1}}$), pour simplifier, l'ordre de grandeur étant comparable pour le dioxygène.

3 - Quelle devrait être la température à la surface de la Lune pour qu'une atmosphère composée de diazote ne s'échappe pas ? Celle-ci varie entre 120 °C le jour et −170 °C la nuit : commenter.

□ Exercice 23.4. Gonflage d'un ballon de basket ★★ (équation d'état des gaz parfaits)

Une pompe à main destinée à gonfler un ballon de basket contient un réservoir cylindrique de volume utile V_1 (diamètre 1 cm, longueur 10 cm). Lorsque le piston est déplacé vers la gauche, le réservoir se remplit d'air issu de l'atmosphère. Lorsqu'il est déplacé vers la droite, tout l'air contenu dans le réservoir est transvasé dans l'enceinte. On suppose qu'à tout instant l'ensemble du gaz contenu dans le réservoir et le ballon est en équilibre thermique avec l'atmosphère, et que l'air dans le ballon se trouve initialement à la pression atmosphérique.

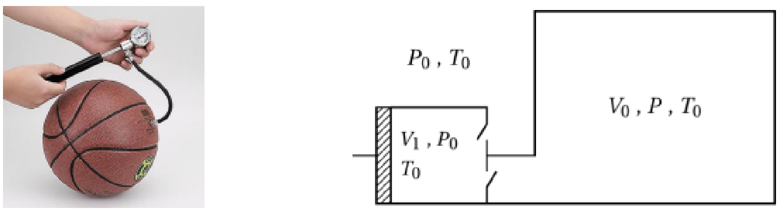

Figure 1 – Pompe permettant de gonfler un ballon de basket.

1 - Déterminer la pression P_k dans le ballon après k allers-retours du piston.

2 - Combien d'allers-retours sont nécessaires pour gonfler le ballon (diamètre 24 cm) à la pression voulue de 1,6 bar ?

Corps pur diphasé à l'équilibre thermodynamique

□ Exercice 23.5. Stockage dans un ballon d'eau chaude ★ (Diagramme de clapeyron)

On souhaite stocker une masse m d'eau dans un ballon d'eau chaude modélisé par un récipient fermé et indéformable de volume $V_0 = 200\ \mathrm{L}$. Pour simplifier, on suppose qu'il ne contient que de l'eau (pas d'air). Suite à un échauffement accidentel, l'eau maintenue initialement à $T_0 = 333\ \mathrm{K}$ (soit $\theta_0 = 60\ °\mathrm{C}$) passe à la température $T = 647\ \mathrm{K}$ (soit $\theta = 374\ °\mathrm{C}$). La masse molaire de l'eau est $M = 18{,}0\ \mathrm{g\cdot mol^{-1}}$, la constante des gaz parfaits est $R = 8{,}314\ \mathrm{J\cdot K^{-1}\cdot mol^{-1}}$.

1. On suppose dans un premier temps que le ballon est presque vide et contient seulement une masse $m = m_1 = 400\ \mathrm{g}$ d'eau.

a) En utilisant le diagramme de Clapeyron (P, v) fourni (en échelles logarithmiques, voir page suivante), déterminer la composition du mélange liquide-gaz dans le ballon à T_0.

b) Sous quelle forme trouve-t-on l'eau après l'échauffement accidentel ? Lire la pression P_1 correspondante sur le diagramme. Retrouver cette pression P_1 par un calcul et commenter la pertinence du modèle utilisé.

2. On suppose maintenant que le ballon contient une masse importante d'eau : $m = m_2 = 100\ \mathrm{kg}$. Déterminer la composition du mélange avant échauffement puis la nouvelle pression P_2 à l'issue de l'échauffement. Conclusion ?

Diagramme (P,v) de l'eau