

Exercices 2 Gaz parfait et premier principe

Application : plongée, ballon-sonde, loi de Mariotte au laboratoire, calorimétrie, chauffage

8 exercices · niveau ●●○ · durée conseillée : 1 h 45 · calculatrice autorisée

★ À RETENIR — Ce qu'il faut savoir faire à la fin de la feuille

- Exploiter $PV = nRT$ dans un dispositif réel et valider la loi de Mariotte par une lecture graphique.
- Mener un bilan d'énergie complet : capacité thermique d'un calorimètre, rendement d'un appareil de chauffage, exploitation d'une courbe $T(t)$ avec palier de changement d'état.
- Compléter et interpréter un programme Python qui réalise un bilan énergétique.

Tous les gaz sont assimilés à des gaz parfaits.

Exercice 1 La bouteille du plongeur

●●○

Une bouteille de plongée de volume intérieur $V = 12,0 \text{ L}$ est gonflée à la pression $P_1 = 200 \text{ bar}$; l'air qu'elle contient est à $\theta_1 = 20^\circ\text{C}$.

■ DONNÉES $R = 8,314 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$ • $T(\text{K}) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273,15$ • $M(\text{air}) = 29,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ • $1 \text{ bar} = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$

- 1.1 Calculer la quantité de matière d'air contenue dans la bouteille, puis sa masse.
- 1.2 Quel volume cet air occuperait-il, à la même température, sous $1,0 \text{ bar}$? Répondre en litres puis en m^3 .
- 1.3 À 20 m de profondeur (pression ambiante $3,0 \text{ bar}$), le plongeur consomme trois fois plus d'air qu'en surface, où son débit est de $20 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$. Calculer son autonomie s'il doit remonter dès qu'il reste 50 bar .
- 1.4 La bouteille pleine est oubliée au soleil et l'air atteint 50°C : nommer la transformation et calculer la nouvelle pression.
- 1.5 À 200 bar , les entités du gaz sont très proches les unes des autres : le modèle du gaz parfait est-il encore adapté?

Exercice 2 Le ballon-sonde météorologique

●●○

Un ballon-sonde est gonflé à l'hélium au sol : il occupe alors le volume $V_0 = 2,00 \text{ m}^3$, sous $P_0 = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$ et à $\theta_0 = 15^\circ\text{C}$. Son enveloppe est très souple : la pression de l'hélium reste égale à celle de l'air extérieur. Le ballon est supposé sphérique.

■ DONNÉES $R = 8,314 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$ • $T(\text{K}) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273,15$ • $M(\text{He}) = 4,00 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

- 2.1 Calculer la quantité de matière d'hélium, puis la masse d'hélium embarquée.
- 2.2 À 20 km d'altitude, la pression vaut 55 hPa et la température -55°C : calculer le volume du ballon et le facteur par lequel il a été multiplié.
- 2.3 Calculer le diamètre du ballon au sol, puis à 20 km . Expliquer pourquoi le ballon finit par éclater.
- 2.4 Quel serait le volume final si la température était restée égale à θ_0 ? Conclure sur l'effet du refroidissement.

Exercice 3 Vérifier la loi de Mariotte au laboratoire



Une seringue reliée à un capteur de pression enferme une quantité fixe d'air, à la température $\theta = 21\text{ }^{\circ}\text{C}$. On déplace lentement le piston et on relève la pression P pour six volumes V ; les points obtenus sont représentés ci-contre en fonction de $1/V$.

$V\text{ (mL)}$	60	50	40	30	25	20
$P\text{ (10}^5\text{ Pa)}$	1,00	1,20	1,50	2,00	2,40	3,00

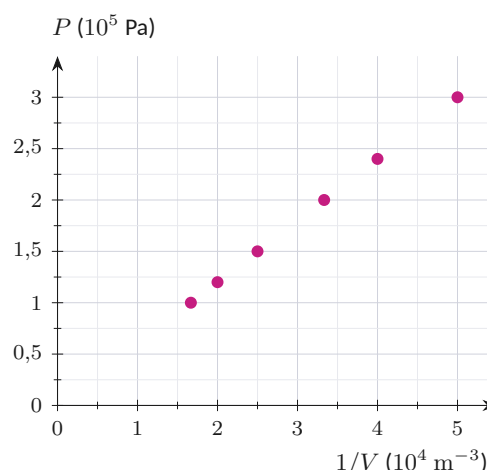


Figure 1 — Pression P en fonction de $1/V$

- 3.1 Justifier, à partir de l'équation d'état, que P est proportionnelle à $1/V$ et exprimer le coefficient de proportionnalité.
- 3.2 Le graphique valide-t-il la loi de Mariotte ? Déterminer graphiquement le coefficient directeur de la droite, en précisant son unité.
- 3.3 En déduire la quantité de matière d'air enfermée, puis sa masse, en milligrammes.
- 3.4 Vérifier la cohérence : calculer le produit PV pour le premier et pour le dernier point du tableau.

■ **DONNÉES** $R = 8,314\text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$ • $T\text{ (K)} = \theta\text{ (}^{\circ}\text{C)} + 273,15$ • $M(\text{air}) = 29,0\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

Exercice 4 La capacité thermique du calorimètre



Un calorimètre, son agitateur et son thermomètre constituent un ensemble de capacité thermique C , inconnue. On y verse $m_1 = 150\text{ g}$ d'eau et on attend l'équilibre thermique : la température vaut alors $\theta_1 = 20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. On ajoute rapidement $m_2 = 150\text{ g}$ d'eau à $\theta_2 = 60,0\text{ }^{\circ}\text{C}$; après agitation, la température se stabilise à $\theta_f = 38,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

■ **DONNÉES** $c_{\text{eau}} = 4,18 \times 10^3\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

- 4.1 Quelle serait la température finale si le calorimètre avait une capacité thermique négligeable ? Comparer à la valeur mesurée et interpréter l'écart.
- 4.2 Écrire le bilan d'énergie interne du système isolé {eau froide + eau chaude + calorimètre}, ce dernier étant initialement à θ_1 .
- 4.3 En déduire l'expression littérale de C , puis sa valeur.
- 4.4 La *valeur en eau* du calorimètre est la masse μ d'eau de même capacité thermique : calculer μ et commenter.

Exercice 5 Plaque à induction ou plaque vitrocéramique ?



On porte $V = 1,50\text{ L}$ d'eau de $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, dans une casserole en aluminium de masse 700 g . Les deux plaques comparées ont la même puissance électrique $\mathcal{P} = 2\,000\text{ W}$; le rendement de la plaque à induction vaut 90% , celui de la plaque vitrocéramique 60% .

■ **DONNÉES** $c_{\text{eau}} = 4,18 \times 10^3\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ • $c_{\text{alu}} = 9,0 \times 10^2\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ • $\rho_{\text{eau}} = 1,00 \times 10^3\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ • $1\text{ kW}\cdot\text{h} = 3,6 \times 10^6\text{ J}$

- 5.1 Calculer l'énergie utile à fournir à l'eau, puis à la casserole ; quel pourcentage du total la casserole représente-t-elle ?
- 5.2 En négligeant la casserole, calculer la durée du chauffage avec chacune des deux plaques, en minutes et secondes.
- 5.3 Calculer, pour chaque plaque, l'énergie électrique consommée en kilowattheures, puis l'économie annuelle réalisée par l'induction (casserole toujours négligée ; deux chauffages par jour, $0,25\text{ €}$ le kilowattheure).
- 5.4 L'induction chauffe directement le fond de la casserole, la vitrocéramique une résistance puis une plaque de verre : relier cette différence à l'écart de rendement.

Exercice 6 Du glaçon à l'eau bouillante : lire une courbe $T(t)$



Un b cher calorifugé contient $m = 200\text{ g}$ de glace sortie du congélateur, à -20°C . Une résistance chauffante plongée dans le b cher fournit au contenu une puissance thermique constante $\mathcal{P} = 200\text{ W}$. Un capteur enregistre la température du contenu au cours du temps, jusqu'au début de l'ébullition (figure 2).

- 6.1 Décrire l'état physique du contenu dans chacune des trois phases, puis interpréter le palier à l'échelle microscopique.
- 6.2 Déterminer graphiquement la durée de la première phase, puis celle de la troisième, et en déduire les capacités thermiques massiques de la glace et de l'eau liquide ; comparer aux valeurs des données.
- 6.3 Déterminer graphiquement la durée du palier, en déduire L_f et calculer l'écart relatif avec la valeur de référence.
- 6.4 Pourquoi les trois phases ont-elles des durées si différentes, à puissance constante ?

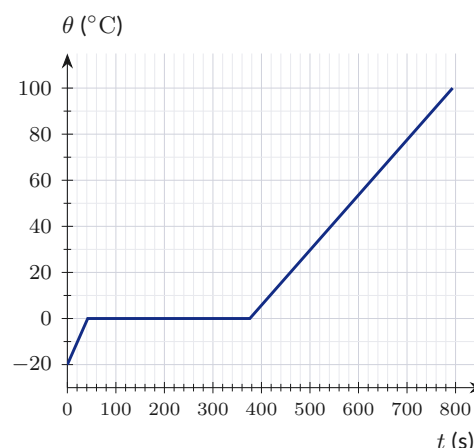


Figure 2 — Température du contenu du b cher

■ **DONNÉES** $c_{\text{eau}} = 4,18 \times 10^3 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ • $c_{\text{glace}} = 2,10 \times 10^3 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ • $L_f(\text{eau}) = 3,34 \times 10^5 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$

Exercice 7 Python : un glaçon dans un verre d'eau



On laisse tomber une masse m_g de glace, prise à 0°C , dans un verre calorifugé contenant $m_e = 500\text{ g}$ d'eau à $\theta_e = 25,0^\circ\text{C}$. Le programme ci-dessous détermine la température finale du mélange.

```
1 c_eau, L_f = 4180.0, 3.34e5
2 m_glace, m_eau, theta_eau = 0.100, 0.500, 25.0
3 Q_fusion = m_glace * L_f # pour fondre toute la glace
4 Q_dispo = m_eau * c_eau * theta_eau # lib re par l'eau en descendant à à degC
5 if Q_dispo > Q_fusion:
6     theta_f = (Q_dispo - Q_fusion) / ((m_eau + m_glace) * c_eau)
7 else:
8     theta_f = ... # ligne à compléter
9 print(round(theta_f, 1), "degC")
```

■ **DONNÉES** $c_{\text{eau}} = 4,18 \times 10^3 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ • $L_f(\text{eau}) = 3,34 \times 10^5 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$

- 7.1 Que représentent Q_{fusion} et Q_{dispo} ? Pourquoi leur comparaison décide-t-elle de l'état final ?
- 7.2 Calculer «   la main » ces deux énergies pour $m_g = 100\text{ g}$, puis la température finale affichée.
- 7.3 Compléter la ligne 8 et justifier physiquement la valeur proposée.
- 7.4 Le programme est relancé avec $m_g = 300\text{ g}$: indiquer la température affichée, puis les masses de glace fondue et non fondue.

Exercice 8 Le coût d'une douche



Un pommeau de douche débite $D = 9,0\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ d'eau à 38°C . Cette eau est obtenue en mélangeant, dans le mitigeur, de l'eau chaude issue du ballon à 60°C et de l'eau froide du réseau à 12°C . Le mélange se fait sans perte d'énergie vers l'extérieur.

■ **DONNÉES** $c_{\text{eau}} = 4,18 \times 10^3 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ • $\rho_{\text{eau}} = 1,00 \times 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ • $1\text{ kW}\cdot\text{h} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$

- 8.1  crire le bilan d'énergie interne du mélange, puis déterminer les deux débits, en $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$.
- 8.2 Pour une douche de $6,0\text{ min}$, calculer le volume d'eau chaude prélevé, puis l'énergie qu'il a fallu fournir pour le porter de 12°C   60°C .
- 8.3 Montrer que cette énergie est aussi celle qui porterait toute l'eau de la douche de 12°C   38°C .

- 8.4** L'énergie est facturée 0,20 € le kilowattheure : calculer le coût d'une douche, puis celui d'une année pour un foyer de quatre personnes (une douche par jour chacune). Un pommeau économe débitant $7,0 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ramènerait cette facture à quelle valeur ?