

Exercices 1 Gaz parfait et premier principe

Les bases : modèle du gaz parfait, équation d'état, énergie interne, bilans d'énergie

10 exercices · niveau ●○○ · durée conseillée : 1 h 30 · calculatrice autorisée

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

- Énoncer les hypothèses et les limites du modèle du gaz parfait ; relier pression et température à l'agitation microscopique.
- Exploiter $PV = nRT$ et $\rho = PM/(RT)$; reconnaître une transformation isotherme, isobare ou isochore.
- Écrire le premier principe $\Delta U = W + Q$, l'appliquer à un système incompressible et mener un bilan d'énergie : calorimétrie, chauffage, changement d'état, rendement, durée.

■ RAPPEL — Le formulaire du chapitre

- **Gaz parfait** : $PV = nRT$ avec $R = 8,314 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$, P en Pa, V en m^3 , et la température thermodynamique T (K) = θ (°C) + 273,15. *Rappel de première* : à T et n constantes, $PV = \text{constante}$ (loi de Mariotte). Masse volumique : $\rho = \frac{m}{V} = \frac{nM}{V} = \frac{PM}{RT}$. **Transformations** : isotherme (T constante), isobare (P constante), isochore (V constant).
- **Premier principe** : $\Delta U = W + Q$, où W et Q sont comptés positivement lorsqu'ils sont reçus par le système. U est une propriété du système ; W et Q décrivent des transferts.
- **Système incompressible** : $\Delta U = mc\Delta T = C\Delta T$ ($C = mc$ en $\text{J}\cdot\text{K}^{-1}$) ; une variation de température en K est égale à la variation en °C. **Changement d'état** à température constante : $Q = mL$.
- **Énergie** : $E = \mathcal{P}\Delta t$; rendement $\eta = E_{\text{utile}}/E_{\text{consommée}}$; $1 \text{ kW}\cdot\text{h} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$.

Exercice 1 Le modèle du gaz parfait

●○○

La figure ci-contre représente, à un instant donné, quelques entités d'un gaz enfermées dans un récipient fermé et indéformable.

- 1.1 Citer les trois hypothèses du modèle du gaz parfait portant sur les entités qui le constituent (taille, interactions, chocs).
- 1.2 Expliquer, à l'échelle microscopique, l'origine de la pression exercée par le gaz sur les parois du récipient.
- 1.3 À quelle grandeur microscopique la température thermodynamique T est-elle reliée ? Que devrait-il se passer, dans ce modèle, si T tendait vers 0 K ?
- 1.4 Le gaz est fortement comprimé, puis fortement refroidi. Dans chaque cas, dire quelle hypothèse du modèle cesse d'être vérifiée.

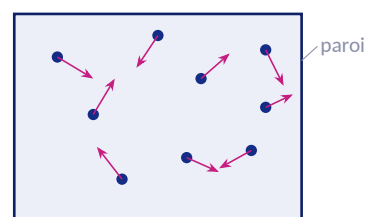


Figure 1 — Entités d'un gaz et leurs vecteurs vitesse

Exercice 2 Utiliser l'équation d'état

●○○

■ **DONNÉES** $M(\text{air}) = 29,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ • $P_{\text{atm}} = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$

- 2.1 Un flacon fermé de volume $V = 2,50 \text{ L}$ contient de l'air à la température $\theta = 20^\circ\text{C}$ sous la pression $P = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$. Calculer la quantité de matière d'air enfermée, puis sa masse.

- 2.2** Une bouteille de laboratoire de volume $V = 5,0 \text{ L}$ contient $n = 2,0 \text{ mol}$ de diazote à $\theta = 25^\circ\text{C}$. Calculer la pression du gaz, en pascals puis en bars ($1 \text{ bar} = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$).
- 2.3** Montrer que le volume molaire d'un gaz parfait ne dépend que de P et de T ; le calculer, en $\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}$, à 0°C puis à 20°C sous P_{atm} .

Exercice 3 La loi de Mariotte, cas particulier de l'équation d'état

●○○

Une seringue contient un volume $V_0 = 60,0 \text{ mL}$ d'air à la pression $P_0 = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$. On bouche l'embout, puis on enfonce lentement le piston; la température de l'air reste égale à celle de la pièce.

- 3.1** Quelles grandeurs restent constantes? Comment nomme-t-on cette transformation? En déduire, à partir de $PV = nRT$, que le produit PV garde la même valeur.
- 3.2** Calculer la pression de l'air lorsque le volume est ramené à $V_1 = 25,0 \text{ mL}$, puis à $V_2 = 15,0 \text{ mL}$.
- 3.3** Justifier que le graphique de P en fonction de $1/V$ est une droite passant par l'origine et donner son coefficient directeur. On enfonce maintenant le piston très rapidement : la seringue devient tiède; la transformation est-elle encore isotherme?

Exercice 4 La masse volumique d'un gaz

●○○

■ **DONNÉES** $M(\text{air}) = 29,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ • $P_{\text{atm}} = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$

- 4.1** À partir de l'équation d'état, établir l'expression $\rho = \frac{PM}{RT}$ de la masse volumique d'un gaz parfait.
- 4.2** Calculer la masse volumique de l'air à 20°C sous P_{atm} . En déduire la masse d'air contenue dans une salle de classe de $7,0 \text{ m}$ sur $6,0 \text{ m}$ et de $2,8 \text{ m}$ de hauteur.
- 4.3** Calculer la masse volumique de ce même air porté à 200°C dans un four, sous P_{atm} ; expliquer pourquoi l'air chaud s'élève. Comparer à celle de l'hélium ($M = 4,00 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$) à 20°C .

Exercice 5 Isotherme, isobare, isochore

●○○

Un gaz parfait est initialement dans l'état A. Le diagramme ci-contre représente trois transformations possibles à partir de A, notées ①, ② et ③.

- 5.1** Associer à chaque transformation le qualificatif *isotherme*, *isobare* ou *isochore*, en justifiant, et indiquer si la température finale est supérieure, inférieure ou égale à celle de A.
- 5.2** Le pneu d'un vélo, de volume constant, est gonflé à la pression (absolue) $P_1 = 2,20 \text{ bar}$ alors que $\theta_1 = 15^\circ\text{C}$. Après un long freinage, l'air qu'il contient atteint $\theta_2 = 45^\circ\text{C}$. Nommer la transformation et calculer la nouvelle pression.
- 5.3** Un ballon de baudruche souple, de volume $V_1 = 2,0 \text{ L}$ à $\theta_1 = 20^\circ\text{C}$, est placé dans un congélateur à $\theta_2 = -18^\circ\text{C}$. La pression intérieure reste égale à P_{atm} . Nommer la transformation et calculer le nouveau volume.

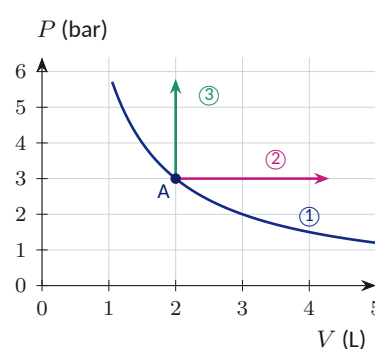


Figure 2 — Trois transformations à partir de A

Exercice 6 Énergie interne et premier principe

●○○

- 6.1** Citer les deux contributions microscopiques à l'énergie interne U d'un système. Laquelle est nulle, par hypothèse, pour un gaz parfait?
- 6.2** Énoncer le premier principe et préciser la convention de signe pour W et Q . Pourquoi écrit-on ΔU et non ΔW ou ΔQ ?
- 6.3** Pour chaque situation, préciser le système étudié et donner le signe de W , de Q et de ΔU .

- a) De l'eau est chauffée dans une casserole posée sur une plaque électrique.
- b) L'air d'une pompe à vélo, dont le corps est calorifugé, est comprimé très rapidement.
- c) Une canette sortie du réfrigérateur est posée sur une table, dans une pièce à 20°C .

6.4 Dans la situation c) de la question 6.3, préciser le sens spontané du transfert thermique et la grandeur qui le détermine. Le transfert inverse est-il spontanément possible ?

Exercice 7 Chauffer de l'eau dans une casserole

●○○

On chauffe $m = 1,50\text{ kg}$ d'eau, initialement à $\theta_i = 18^\circ\text{C}$, dans une casserole en aluminium de masse $m' = 0,80\text{ kg}$, jusqu'à $\theta_f = 100^\circ\text{C}$. La plaque électrique a une puissance $\mathcal{P} = 2,00\text{ kW}$ et transfère 80 % de cette puissance à l'ensemble {eau + casserole}.

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

- 7.1 Justifier que le premier principe s'écrit ici $\Delta U = Q$.
- 7.2 Calculer la variation d'énergie interne de l'eau, puis celle de la casserole (même température finale).
- 7.3 En déduire l'énergie thermique totale à fournir, puis la durée du chauffage, en minutes et secondes.
- 7.4 Quel pourcentage de l'énergie utile sert à chauffer la casserole ?

Exercice 8 Mélanger de l'eau chaude et de l'eau froide

●○○

Dans un calorimètre *parfait* (parois calorifugées, capacité thermique négligeable), on verse $m_1 = 200\text{ g}$ d'eau à $\theta_1 = 70,0^\circ\text{C}$ et $m_2 = 300\text{ g}$ d'eau à $\theta_2 = 20,0^\circ\text{C}$. On agite jusqu'à l'équilibre thermique.

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

- 8.1 Prévoir, sans calcul, le sens du transfert thermique. Le système {eau chaude + eau froide} étant isolé, justifier que $\Delta U_1 + \Delta U_2 = 0$, puis établir l'expression de θ_f en fonction de m_1 , m_2 , θ_1 et θ_2 .
- 8.2 Calculer θ_f et expliquer pourquoi ce n'est pas la moyenne de θ_1 et θ_2 , puis calculer l'énergie thermique cédée par l'eau chaude et celle reçue par l'eau froide.
- 8.3 En réalité le calorimètre, initialement à $20,0^\circ\text{C}$, a une capacité thermique non négligeable. La température mesurée sera-t-elle supérieure ou inférieure à θ_f ?

Exercice 9 Faire fondre des glaçons

●●○

Un verre contient $m = 150\text{ g}$ de glace à 0°C .

■ **DONNÉES** $c_{\text{eau}} = 4,18 \times 10^3\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ • $L_f(\text{eau}) = 3,34 \times 10^5\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ • $L_v(\text{eau}) = 2,26 \times 10^6\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$

- 9.1 Calculer l'énergie nécessaire pour faire fondre entièrement cette glace. À quoi sert-elle à l'échelle microscopique, puisque la température ne varie pas ?
- 9.2 Calculer l'énergie nécessaire pour porter ensuite l'eau obtenue à 20°C , puis l'énergie totale reçue.
- 9.3 Calculer l'énergie nécessaire pour vaporiser entièrement 150 g d'eau à 100°C ; comparer à l'énergie de fusion.

Exercice 10 Une bouilloire électrique

●●○

Une bouilloire de puissance électrique $\mathcal{P} = 2\,200\text{ W}$ contient $V = 0,500\text{ L}$ d'eau à $\theta_i = 20^\circ\text{C}$. On souhaite porter cette eau à 100°C . On mesure une durée de chauffage $\Delta t = 88\text{ s}$.

■ **DONNÉES** $c_{\text{eau}} = 4,18 \times 10^3\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ • masse volumique de l'eau liquide : $\rho_{\text{eau}} = 1,00\text{ kg}\cdot\text{L}^{-1}$

- 10.1 Calculer la masse d'eau, puis l'énergie thermique utile à fournir.
- 10.2 Quelle serait la durée du chauffage si toute l'énergie électrique servait à chauffer l'eau ? Calculer l'énergie électrique réellement consommée, puis le rendement de la bouilloire.
- 10.3 Citer deux causes de pertes. L'électricité étant facturée $0,25\text{ €}$ le kilowattheure, calculer le coût d'une année à raison de quatre chauffages par jour.