Transferts macroscopiques d'énergie

Comprendre
Lois et
Modèles

Exercices

Activités

1 Du macroscopique au microscopique (p. 350)

1 Des particules macroscopiques sont percutées par des particules microscopiques et, de ce fait, sont animées d'un mouvement aléatoire nommé mouvement brownien.

2 $\overline{x^2}$ est le carré moyen du déplacement selon l'axe x. Il est calculé en faisant la moyenne des carrés des déplacements d'un grain suivant un axe horizontal pendant un intervalle de temps donné. Dans cette relation, l'intervalle de temps est noté *t*.

3 On déduit de la formule $\frac{\overline{x^2}}{t} = \frac{R \cdot T}{N_A} \cdot \frac{1}{4\pi\, r^3 \eta}$ que l'activité du mouvement brownien est inversement proportionnelle au nombre d'Avogadro.

Cette activité dépend aussi de la température, de la taille du grain, de la viscosité du liquide et d'une constante R, la constante molaire des gaz parfaits.

4 Lors de la première expérience, J. PERRIN a modifié la taille des grains et la viscosité du liquide pour prouver que la constante d'Avogadro ne dépend pas des conditions de mesure.

5 J. PERRIN a déterminé le rayon moyen des grains en évaporant l'eau et en alignant les grains selon un axe horizontal.

6 D'après les données de l'énoncé, l'encadrement actuel de la valeur de la constante d'Avogadro est :

$$6{,}022\,141\,02 \times 10^{23} < N_A < 6{,}022\,144\,56 \times 10^{23}$$

L'encadrement de J PERRIN était de :

$$5{,}5 \times 10^{23} < N_A < 8{,}0 \times 10^{23}.$$

Il est bien compatible avec l'encadrement actuel.

7 Le mouvement brownien a permis, par des observations et des mesures à notre échelle, c'est-à-dire macroscopique, de prouver l'existence de particules infiniment petites appartenant au domaine microscopique.

2 Énergies microscopiques (p. 351)

1 L'archer fournit de l'énergie à l'arc sous forme de travail pour le déformer.

2 L'arc, après avoir été déformé, peut fournir de l'énergie à la flèche pour la mettre en mouvement. Il a donc emmagasiné de l'énergie au préalable. Cette énergie est stockée sous forme d'énergie potentielle élastique.

3 Au niveau microscopique, lorsque l'arc est déformé, la position des atomes les uns par rapport aux autres a été modifiée.
Cette modification correspond à une variation, à l'échelle microscopique, d'énergie potentielle.

4 Lorsque la température du système s'élève, les particules microscopiques ont des mouvements plus rapides. L'énergie cinétique microscopique augmente.

5 L'échauffement de la météorite est dû au travail des forces de frottement entre la météorite et l'atmosphère. Les particules de la météorite voient leur énergie cinétique augmenter.

6 Le Soleil fournit de l'énergie à la sculpture de glace pour la faire fondre.

7 Au niveau microscopique, des interactions entre les molécules d'eau, responsables de la cohésion de la glace, sont rompues. L'énergie potentielle microscopique est modifiée.

8 Pour définir l'énergie cinétique microscopique d'une particule, il faut préciser qu'en plus d'un mouvement d'ensemble – qualifié de mouvement macroscopique – les particules peuvent avoir un mouvement par rapport au centre d'inertie du système et donc une vitesse dans le référentiel d'inertie. On associe à cette vitesse une énergie cinétique microscopique.
De plus, les particules peuvent interagir entre elles. À ces interactions, on associe une énergie potentielle microscopique.
L'énergie interne est définie comme la somme de toutes ces contributions microscopiques.
On note que, dans le modèle du gaz parfait, les interactions entre les molécules de gaz sont négligées, de telle sorte qu'au niveau microscopique le système ne possède qu'une énergie cinétique. On montre, en théorie cinétique des gaz, que l'énergie interne d'un gaz parfait n'est fonction que de sa température.
Lorsque les interactions entre particules ne sont plus négligeables, on utilise d'autres modèles de gaz : le modèle de Van der Waals par exemple.

3 Constante solaire et transfert thermique (p. 352)

1 Le bloc d'aluminium utilisé a une masse $m = 47,5 \times 10^{-3}$ kg.

2 φ_S est une puissance par unité de surface, son unité est donc le $W \cdot m^{-2}$.

3 L'énergie issue du rayonnement solaire ($\mathscr{E}_S$) se calcule à partir de la puissance du rayonnement solaire (φ_S), de la surface éclairée (S) et de la durée d'éclairement (Δt) :

$$\mathscr{E}_S = \varphi_S \cdot \Delta t \cdot S$$

Ce terme est une énergie, car l'étude des unités des grandeurs utilisées dans la relation donne :

$$(W \cdot m^{-2}) \cdot s \cdot m^2 = J \cdot s^{-1} \cdot s = J$$

L'énergie stockée dans le métal peut s'exprimer en fonction de sa masse, de sa capacité thermique massique et de sa variation de température :

$$m \cdot c \cdot (\theta_f - \theta_i)$$

Ce terme est une énergie, car une étude des unités donne :

$$kg \cdot (J \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1}) \cdot °C = J$$

Ces deux énergies sont égales, on obtient :

$$\varphi_S \cdot \Delta t \cdot S = m \cdot c \cdot (\theta_f - \theta_i)$$

Cette formule est homogène puisque les unités sont les mêmes à droite et à gauche de l'égalité (le Joule).

De l'égalité précédente, on déduit : $\varphi_S = \dfrac{m \cdot c(\theta_f - \theta_i)}{\Delta t \cdot S}$

d'où, avec les valeurs expérimentales obtenues :

$$\varphi_S = \frac{47,5 \times 10^{-3} \times 895 \times (39,0 - 26,3)}{1\,000 \times \pi \times \dfrac{(26 \times 10^{-3})^2}{4}}$$

$$\varphi_S = 1,02 \times 10^3\ W \cdot m^{-2}.$$

4 Puisque 30 % de l'énergie est absorbée par l'atmosphère : $\varphi_S = 0,70 \cdot F$, donc :

$$F = \frac{\varphi_S}{0,70} = \frac{1,02 \times 10^3}{0,70} = 1,45 \times 10^3\ W \cdot m^{-2}.$$

Cette valeur est de l'ordre de grandeur des valeurs proposées dans la littérature.

5 On décompose le transfert d'énergie en trois étapes :

– le transfert par rayonnement dans le vide spatial depuis le Soleil jusqu'à l'atmosphère terrestre ;

– le transfert par rayonnement et par convection dans l'atmosphère jusqu'au pyromètre ;

– le transfert par conduction dans le bloc de métal, et entre le bloc et le thermomètre.

4 La résistance thermique (p. 353)

1 **a.** Le flux thermique φ est une énergie thermique transférée par unité de temps. Il s'exprime donc en watt (W).

b. La résistance thermique R_{th} et le flux sont liés par $\varphi = \dfrac{T_1 - T_2}{R_{th}}$.

La résistance thermique s'exprime donc en $K \cdot W^{-1}$ ou $°C \cdot W^{-1}$.

2 Le tableau suivant résume quelques mesures :

Matériau	Épaisseur	T_1 (°C)	T_2 (°C)	I (mA)	U (V)	P (W)	R_{th} calculée (°C · W^{-1})
Verre	5,0 mm	21,6	14,6	295	14,34	4,23	1,65
Bois	9,0 mm	22,0	7,0	118	5,81	0,68	21,84
PVC	3,0 mm	21,6	9,4	241	11,73	2,82	4,31
Plâtre	9,0 mm	21,6	8,8	192	9,17	1,76	7,26

Puisque $\varphi = \dfrac{Q}{\Delta t}$ et que l'on considère que l'énergie électrique reçue par le conducteur ohmique est convertie en énergie thermique, puis est totalement transférée à travers la plaque, on a $\varphi = \mathscr{P}$.

Pour chaque condition, on peut déterminer R_{th} et la comparer à la valeur affichée.

3 Lors de la mesure de la résistance thermique, il existe des erreurs, notamment au niveau des mesures des températures, de la tension et de l'intensité du courant.

4 **a.** Plus la résistance thermique du matériau est élevée, plus le flux thermique est faible à travers le matériau. Ce dernier empêche le transfert d'énergie à travers lui ; c'est un bon isolant thermique.

b. Lorsque plusieurs matériaux sont accolés, la résistance thermique totale est égale à la somme des résistances thermiques de chaque matériau.

5 Ça refroidit dedans et ça chauffe dehors (p. 354-355)

1 Pour comprimer un système, il faut lui fournir de l'énergie (en appuyant dessus par exemple). On en déduit que le travail W est reçu par le système, donc est positif.

2 Une liquéfaction (condensation liquide) correspond à la formation de nouvelles interactions intermoléculaires (Première S), donc elle s'accompagne d'une libération d'énergie. C'est une transformation exothermique.

Une vaporisation correspond à la rupture d'interactions intermoléculaires présentes dans un liquide, donc elle nécessite de l'énergie thermique. C'est une transformation endothermique.

3 **a.** Le principal mode de transfert thermique est la conduction thermique.
b. Le liquide frigorifique se condense en libérant de l'énergie à l'extérieur, ce qui est perceptible en touchant les tuyaux au dos du réfrigérateur.

4 Le transfert thermique entre le système et l'armoire a lieu lors de la vaporisation endothermique : l'armoire fournit de l'énergie thermique au système, donc elle perd de l'énergie. La température de l'armoire va diminuer.

5 La variation d'énergie interne de l'eau liquide s'écrit :

$$\Delta U = W + Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Or, ici, $W = 0$ et $Q = -4{,}75$ kJ puisque le transfert thermique se fait de l'eau vers le liquide frigorifique. Il vient alors :

$$\Delta T = \frac{Q}{m \cdot c} = -\frac{4\,750}{4{,}1 \times 1{,}00 \times 4\,180} = -0{,}27\ °\text{C}.$$

La température de l'eau liquide baisse d'environ 0,3 °C lors d'un cycle de fonctionnement.

Exercices (p. 361-373)

QCM

1 1. B ; **2** 1. A ; 2. A, B et C ; 3. C ; **3** 1. B ; 2. A et C ; 3. B et C ; 4. A ; **4** 1. B ; 2. A.

Application immédiate

5 Interpréter des transferts thermiques

Le flux thermique est défini par $\varphi = \frac{\Delta T}{R_{th\_bois}} = \frac{\Delta T}{16\ e}$ donc $e = \frac{\Delta T}{16\ \varphi}$.

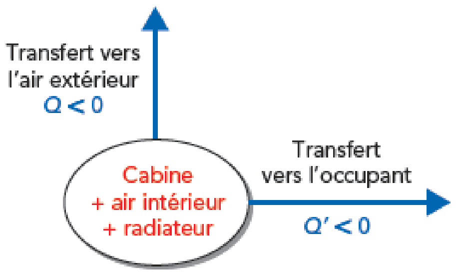
Application numérique :

$$e = \frac{30}{16 \times 12} = 0{,}16\ \text{m}, \quad \text{soit } 16\ \text{cm}.$$

Il faudrait un panneau de bois de 16 cm d'épaisseur pour obtenir un flux thermique de 12 W.

6 Faire un bilan d'énergie

1. Après la coupure électrique, le système dont fait partie le radiateur ne reçoit plus de travail électrique. Il y a deux transferts d'énergie à faire intervenir : un transfert vers l'air extérieur et un transfert vers l'occupant.
Ces deux transferts sont négatifs pour le système.



2. Par ailleurs, pour le système $\Delta U = Q + Q'$.
Q et Q' sont deux grandeurs négatives, donc la variation d'énergie interne l'est aussi.
La température du système diminue puisque son énergie interne diminue.

Pour commencer

7 Connaître l'intérêt de la co d'Avogadro

1. La constante d'Avogadro représente le nombre d'entités présentes dans une mole de cette entité.

2. La constante d'Avogadro lie les mondes macroscopique et microscopique.

8 Prendre conscience de la valeur de N_A

1. Dans 60 millions de m^3 de sable, il y a :

$$N = \frac{60 \times 10^6}{5 \times 10^{-11}} = 1 \times 10^{18} \text{ grains de sable.}$$

On néglige le volume entre les grains de sable.

2. Le nombre de moles de grain de sable est :

$$n_{\text{grains de sable}} = \frac{N}{N_A} = \frac{1 \times 10^{18}}{6{,}02 \times 10^{23}} = 2{,}0 \times 10^{-6} \text{ mol.}$$

3. Il faudrait environ 5×10^5 dunes du Pilat pour rassembler 1 mole de grains de sable

9 Savoir définir l'énergie inter

L'énergie interne d'un système est la énergies potentielle et cinétique microscopiques. L'énergie interne résulte de propriétés microscopiques.

10 Comprendre la variation d'énergie interne d'un système

1. L'énergie interne d'un système peut varier s'il échange avec l'extérieur du travail W et/ou de l'énergie thermique Q. La relation qui en résulte s'écrit :

$$\Delta U = W + Q$$

2. La variation $\Delta U = U_f - U_i$ de l'énergie interne d'un système est positive si l'énergie interne du système augmente ; elle est négative dans le cas contraire.

11 Connaître la relation entre ΔU et c

1. Un corps est dans un état condensé s'il est à l'état liquide ou à l'état solide.

2. La capacité thermique massique c d'un corps est l'énergie nécessaire pour élever de 1 °C (ou de 1 K) la température d'une masse de 1 kg de ce corps.

3. La relation entre la variation d'énergie interne et la variation de température est :

$$\Delta U = m \cdot c \cdot \Delta T$$

avec ΔU en J, m la masse du système en kg, c la capacité thermique massique en $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ (ou en $J \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1}$) et ΔT la variation de température du corps exprimée en K ou en °C.

12 Calculer la variation d'énergie interne d'un système

La variation d'énergie interne de la masse m d'eau est liée à sa variation de température par :

$$\Delta U = m \cdot c \cdot (T_2 - T_1)$$

La masse m se calcule à partir de la masse volumique :

$$m = V_{eau} \cdot \rho_{eau}$$

donc : $\Delta U = V_{eau} \cdot \rho_{eau} \cdot c \cdot (T_2 - T_1)$

AN : $\Delta U = 1{,}7 \times 1{,}00 \times 4{,}18 \times 10^3 \times (64 - 20) = 3{,}1 \times 10^5$ J.

L'énergie interne de ce volume d'eau a augmenté de $3{,}1 \times 10^5$ J.

13 Calculer une variation d'énergie interne

1. L'énergie interne d'un système peut varier si le système échange avec l'extérieur de l'énergie par travail ou par transfert thermique.

2. Les flèches indiquent le sens du transfert énergétique. W et Q_1 sont reçus par le système, donc $W > 0$ et $Q_1 > 0$.

Le système perd Q_2 par transfert thermique, donc $Q_2 < 0$.

3. La variation d'énergie interne est :

$$\Delta U = W + Q_1 + Q_2 = 120 + 100 - 200 = +20 \text{ J}.$$

L'énergie interne du système augmente de 20 J.

14 Identifier des modes de transferts thermiques

a. Le transfert thermique du Soleil vers le sac se fait par rayonnement.

b. Le transfert thermique du sac vers l'eau se fait par conduction.

c. Le transfert thermique dans l'eau se fait par convection.

15 Illustrer des modes de transferts thermiques

a. Il y a des transferts thermiques par conduction entre la piscine et le sol qui l'entoure, entre l'eau de la piscine et la couche d'air à son contact.

b. Il y a des transferts thermiques par convection dans l'eau de la piscine, dans l'air.

c. Il y a des transferts thermiques par rayonnement entre le Soleil et la piscine, et entre le Soleil et le sol.

16 Reconnaître un mode de transfert

1. La température de la plaque augmente, son énergie interne également.

2. La plaque reçoit un travail mécanique de la force de frottement de la scie sur la plaque. Ce travail augmente localement la température de la plaque. Il y a ensuite un transfert thermique par conduction dans toute la plaque.

17 Calculer et exploiter un flux thermique

1. a. Le flux thermique qui traverse la plaque de cuivre est :

$$\varphi_{Cu} = \frac{Q_{Cu}}{\Delta t} = \frac{4{,}4 \times 10^6}{15 \times 60} = 4{,}9 \times 10^3 \text{ W}.$$

b. Le flux thermique qui traverse la plaque d'aluminium est :

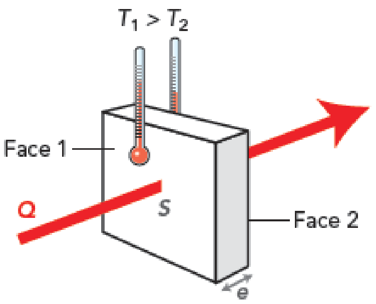
$$\varphi_{Al} = \frac{|\Delta T|}{R_{th\_Al}} = \frac{5{,}0}{1{,}7 \times 10^{-2}} = 2{,}9 \times 10^2 \text{ W}.$$

2. Pour des dimensions identiques, le flux thermique qui traverse une plaque d'aluminium est moins important que celui qui traverse une plaque de cuivre.

Un flux thermique est l'énergie transférée à travers une surface par unité de temps. Le cuivre est donc le métal qui transfère le plus rapidement l'énergie thermique.

18 Calculer une énergie thermique transférée

1.



Le flux thermique est orienté de la source chaude (l'intérieur) vers la source froide (l'extérieur).

2. Le flux thermique s'exprime par :

$$\varphi = \frac{|T_i - T_e|}{R_{th\_vitre}} = \frac{(19 - (-1))}{5{,}0 \times 10^{-3}} = \frac{20}{5{,}0 \times 10^{-3}}$$

soit $\varphi = 4{,}0 \times 10^3$ W.

Le flux thermique à travers la vitre est de $4{,}0 \times 10^3$ W.

3. L'énergie thermique transférée s'écrit :

$$Q = \varphi \cdot \Delta t$$

avec Δt exprimé en seconde.

En 1,25 h, elle a pour valeur :

$$Q = 4{,}0 \times 10^3 \times 1{,}25 \times 3\,600 = 1{,}8 \times 10^7 \text{ J}.$$

19 Établir un bilan énergétique

1. Le système étudié est l'eau contenue dans le cumulus.

2. La résistance, lorsqu'elle est traversée par un courant électrique, transfère à l'eau de l'énergie par travail électrique $W_{élec}$.

La température de l'eau diminue, donc elle perd de l'énergie Q par transfert thermique.

3. L'eau reçoit de l'énergie par travail, donc $W > 0$, et en perd par transfert thermique, $Q < 0$. L'énergie reçue par rayonnement est négligeable.

4.

Pour s'entraîner

20 Des nombres astronomiques à l'échelle microscopique !

1. La constante d'Avogadro représente le nombre d'entités présentes dans une mole de cette entité (atomes, ions, molécules, etc.).
2. La conversion s'effectue en divisant par la constante d'Avogadro :
– n(humains) = $1{,}2 \times 10^{-14}$ mol ;
– n(étoiles,Voie Lactée) = $3{,}89 \times 10^{-13}$ mol ;
– n(étoiles, Univers) = 0,1 mol.

3. Le nombre d'entités microscopiques présentes dans un système macroscopique étudié en chimie est gigantesque (il y a presque dix fois plus d'atomes dans une mole que d'étoiles dans tout l'Univers). Travailler avec des quantités de matière permet de manipuler plus commodément des nombres. Cette grandeur est adaptée à l'échelle macroscopique.

21 Chacun son domaine et les unités seront bien gardées !

1. À l'aide des données de l'énoncé, on calcule :
a. $\dfrac{R}{k_B} = 6{,}02 \times 10^{-23}\ \text{mol}^{-1} \approx N_A$

b. $\dfrac{F}{e} = 6{,}03 \times 10^{-23}\ \text{mol}^{-1} \approx N_A$

c. D'après la définition de l'unité de masse atomique :
$$1\text{u} = \frac{1}{12} \times m(1 \text{ atome } ^{12}\text{C}) = \frac{1}{12\,N_A} m(1 \text{ mol } ^{12}\text{C})$$
$$1\text{u} = \frac{1}{12\,N_A} \times 1 \times M(^{12}\text{C}) = \frac{1}{N_A}\ \text{g}$$
On retrouve encore une fois le nombre d'Avogadro.

2. Le passage d'un domaine à l'autre se faisant grâce à la constante d'Avogadro :

Domaine microscopique	Domaine macroscopique
k_B	R
e	F
1 u	1 g

3. Certaines unités sont mal adaptées à l'échelle micro- ou macroscopique. Il est souvent plus commode de manipuler des nombres qui ne sont ni infiniment petits, ni infiniment grands (sans puissance de dix), d'où l'introduction de nouvelles unités comme celle de masse atomique, plus facile à manipuler que $1{,}66 \times 10^{-24}$ g.

22 Calculer une variation de température

1. La température de l'huile diminue ; il en est de même pour son énergie interne. La variation d'énergie interne de l'huile est donc négative.

2. La variation d'énergie interne de l'huile s'exprime par :
$$\Delta U = m \cdot c \cdot (T_f - T_i)$$
avec m la masse de l'huile.
$$m = V_{huile} \cdot d_{huile} \cdot \rho_{eau}$$
d'où $\Delta U = V_{huile} \cdot d_{huile} \cdot \rho_{eau} \cdot (T_f - T_i)$.
On en déduit :
$$T_f = \frac{\Delta U}{V_{huile} \cdot d_{huile} \cdot \rho_{eau} \cdot c_{huile}} + T_i$$
AN :
$$T_f = \frac{-2{,}2 \times 10^5}{5{,}0 \times 0{,}81 \times 1{,}00 \times 2\,000} + 50 \quad \text{soit } T_f \approx 23\ °\text{C}.$$

23 Une ou plusieurs couches ?

1. Le matériau le mieux adapté aux vêtements d'hiver est celui qui a la résistance thermique la plus élevée, c'est-à-dire le feutre.

2. Lorsqu'on accole plusieurs matériaux, la résistance thermique totale est la somme des résistances thermiques de chacun des matériaux.

3. a. Entre deux vêtements est emprisonnée une fine épaisseur d'air.
b. On constate que, pour une même épaisseur e, l'air a une résistance thermique plus élevée que les matériaux présentés. C'est donc un bon isolant thermique. Deux vêtements de même épaisseur, l'un constitué d'un tissu unique et l'autre d'une superposition de tissus fins, n'ont pas la même résistance thermique. La résistance du tissu épais est plus faible que la somme de la résistance des tissus fins et de celle de l'air emprisonné dans ces tissus.

24 Mesure d'une résistance thermique

1. La résistance thermique se calcule à partir de l'expression du flux thermique.
$$R_{th} = \frac{|T_1 - T_2|}{\varphi} = \frac{20{,}0 - 8{,}0}{0{,}100} = 120\ \text{K}\cdot\text{W}^{-1}.$$
La résistance thermique de cette plaque d'aluminium est de 120 $\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$.

2. a. La résistance thermique de l'appareil est la résistance de la plaque de polystyrène plus celle des deux plaques d'aluminium :
$$R_{th\_tot} = R_{th} + 2\,R'_{th}$$
La résistance thermique des plaques d'aluminium doit être faible devant celle du polystyrène pour que la valeur mesurée soit identifiable à la résistance thermique du polystyrène.
b. On vérifie que $2\,R'_{th} << R_{th}$; la résistance thermique de l'aluminium est négligeable devant celle du polystyrène.

3. a. $U(\varphi) = 0{,}06 \times 0{,}100 = 0{,}006$ W
La valeur du flux thermique a une valeur encadrée par :
$$0{,}094\ \text{W} < \varphi < 0{,}106\ \text{W}$$
b. $U(\Delta T) = \sqrt{U(T_1)^2 + U(T_2)^2} = \sqrt{0{,}2^2 + 0{,}2^2} = 0{,}3\ °\text{C}$
d'où $11{,}7\ °\text{C} < \Delta T < 12{,}3\ °\text{C}$.
c. À partir de la formule de calcul d'incertitude du texte et de $R_{th} = \dfrac{|\Delta T|}{\varphi}$, on déduit :
$$U(R_{th}) = R_{th} \cdot \sqrt{\left(\frac{U(\Delta T)}{\Delta T}\right)^2 + \left(\frac{U(\varphi)}{\varphi}\right)^2}$$
$$U(R_{th}) = 120 \times \sqrt{\left(\frac{0{,}3}{12}\right)^2 + \left(\frac{0{,}006}{0{,}100}\right)^2}$$
$$U(R_{th}) = 8\ \text{K}\cdot\text{W}^{-1}$$
d'où $112\ \text{K}\cdot\text{W}^{-1} < R_{th} < 128\ \text{K}\cdot\text{W}^{-1}$,
ce qui s'écrit aussi $R_{th} = 120 \pm 8\ \text{K}\cdot\text{W}^{-1}$.

25 Four à micro-ondes

1. La fréquence des ondes décrites est comprise entre 10^9 et 10^{11} Hz, ce qui correspond bien, d'après le spectre des ondes électromagnétiques, au domaine des micro-ondes.

La longueur d'onde dans le vide se calcule par :

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3 \times 10^8}{2,450 \times 10^9} = 0,122 \text{ m}.$$

2. Du magnétron à l'eau liquide, le transfert thermique s'effectue par rayonnement. De l'eau liquide aux autres parties de l'aliment, il s'effectue par conduction thermique.

3. a. Pour une masse m d'eau, la variation d'énergie interne s'écrit :

$$\Delta U = m \cdot c(H_2O(\ell)) \cdot (T_f - T_i)$$

AN :

$$\Delta U = 0,500 \times 4,18 \times 10^3 \times (40,8 - 18,2)$$
$$\Delta U = 47,2 \times 10^3 = 47,2 \text{ kJ}$$

ΔU est positive, ce qui est cohérent avec l'augmentation de la température de l'eau.

b. L'énergie consommée par le four est :

$$\mathscr{E}_{cons} = 750 \times 90 = 67,5 \text{ kJ}.$$

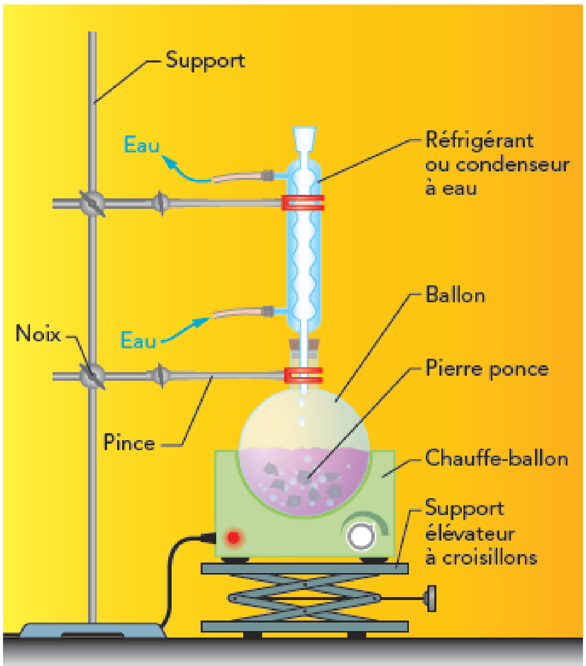
c. Le rendement de conversion du four est :

$$\rho = \frac{\Delta U}{\mathscr{E}_{cons}} = 0,70.$$

Le rendement de conversion du four est de 70 %.

26 Chauffage à reflux

1. Il faut utiliser un chauffe-ballon et un ballon muni d'une colonne réfrigérante à air ou, plus efficace, à eau.
Pour pouvoir arrêter le chauffage rapidement, il faut installer le montage sur un support élévateur.



2. Par conduction thermique entre le chauffe-ballon et le ballon, le contenu de celui-ci est chauffé, son énergie interne croît. Il y a aussi des courants de convection au sein du mélange liquide. Quand la température est suffisamment élevée, le corps le plus volatil (en général le solvant) est vaporisé (rupture des interactions intermoléculaires qui assuraient la cohésion du liquide).
Les vapeurs atteignent la colonne réfrigérante et y sont refroidies (par conduction essentiellement dans un réfrigérant à air et par conduction et convection dans un réfrigérant à eau). L'agitation thermique et donc la température diminuent (l'énergie interne de la phase vapeur décroît) jusqu'à atteindre la température de changement d'état et les vapeurs se condensent (l'agitation thermique n'est plus suffisante pour empêcher les interactions moléculaires, assurant la cohésion du liquide, de s'établir). Le liquide retombe dans le ballon et il est de nouveau chauffé.

3. Ce montage permet de chauffer le milieu réactionnel, ce qui accélère la réaction, sans perte de matière.

27 À chacun son rythme

1. a. L'eau est en contact avec l'air et avec le sac plastique.

b. Il y a transfert thermique par conduction entre l'eau froide et le sac plastique ainsi qu'entre l'eau froide et l'air. Il y a aussi un transfert thermique par rayonnement entre l'eau froide et le milieu extérieur, mais le texte indique qu'il est négligeable.

2. a. Les températures des faces intérieure et extérieure du sac plastique sont de 22 °C et 2 °C.

$$R_{th\_plastique} = \frac{|T_e - T_i|}{\varphi} = \frac{22 - 2}{200}$$
$$R_{th\_plastique} = 1 \times 10^{-1} \text{ K}\cdot\text{W}^{-1}.$$

b. La résistance thermique du sac en plastique est bien plus grande que celle du seau en acier.

c. Le sac plastique s'oppose bien mieux au transfert thermique que le seau en acier. Un sac plastique conserve plus longtemps une bouteille au frais qu'un seau en acier de mêmes dimensions.

28 Coup de chaud au bureau

1. Le processeur étant en contact avec les ailettes, il leur transfère de l'énergie par conduction thermique. Son énergie interne et sa température diminuent (celles des ailettes augmentent). À leur tour, les ailettes transfèrent de l'énergie par conduction à l'air qui est en contact avec elles.

2. Le flux thermique est d'autant plus élevé que la surface de contact entre les deux corps est grande, d'où un refroidissement plus efficace.
Associer un ventilateur au radiateur permet de transférer l'énergie des ailettes à l'air par conduction et améliore sensiblement la convection (en renouvelant l'air), d'où un refroidissement plus efficace.

3. L'eau est un meilleur conducteur thermique que l'air ; de plus, on peut refroidir le processeur par l'intérieur et non juste par les surfaces externes.

29 Un isolant, la laine de verre

1. La résistance thermique se calcule à partir du flux thermique et de l'écart de température :

$$R_{th1} = \frac{|\Delta T|}{\varphi_1} = \frac{15}{10} = 1,5 \text{ K}\cdot\text{W}^{-1}.$$

2. Pour la laine de verre 2, il faut utiliser l'énergie transférée :

$$\varphi_2 = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{|T_B - T_A|}{R_{th2}}$$

d'où $R_{th2} = \dfrac{\Delta t \cdot |T_B - T_A|}{Q} = \dfrac{2,0 \times 3\,600 \times (30 - 10)}{36 \times 10^3}$

$$R_{th2} = 4,0 \text{ K}\cdot\text{W}^{-1}.$$

3. a. Par étude des unités des grandeurs de la relation, on trouve λ en $W \cdot m^{-1} \cdot °C^{-1}$ ou $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$.

b. AN :

$$\lambda_1 = \frac{e_1}{S_1 R_{th1}} = \frac{60 \times 10^{-3}}{1,0 \times 1,5} = 4,0 \times 10^{-2}\ W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$$

$$\lambda_2 = \frac{e_2}{S_2 R_{th2}} = \frac{240 \times 10^{-3}}{4,0 \times 1,5} = 4,0 \times 10^{-2}\ W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$$

4. La conductivité thermique est indépendante de l'épaisseur du matériau. Sa valeur caractérise les propriétés d'un matériau à faciliter les transferts thermiques.

5. Le flux thermique s'exprime par :

$$\varphi = \frac{\lambda \cdot S \cdot |\Delta T|}{e}$$

6. Lorsqu'on double la surface de laine de verre, le flux thermique double.

7. Lorsqu'on double l'épaisseur de laine de verre, le flux thermique est divisé par deux.

8. Les pertes d'énergie sont d'autant plus grandes que le flux thermique est élevé. Pour limiter les pertes d'énergie par la toiture, il faut limiter sa surface et augmenter l'épaisseur de laine de verre.

30 Identifier des transferts d'énergie

1. On considère le système {canette + boisson}. Il reçoit de l'énergie sous forme de transfert thermique, puisque sa température augmente, par rayonnement et par conduction.

2. Si la température ne varie plus, on peut seulement affirmer que la variation d'énergie interne du système est nulle.
La température du système est plus grande que celle de l'extérieur ; il y a donc un transfert thermique du système vers l'extérieur. Ce transfert thermique est compensé par rayonnement.

3. La masse de boisson contenue dans la canette est :

$$m_{eau} = \rho_{eau} \cdot V_{eau}$$

La variation d'énergie interne du système {canette + boisson} s'écrit :

$$\Delta U = Q = m_{Al} \cdot c_{Al} \cdot \Delta T_{Al} + m_{eau} \cdot c_{eau} \cdot \Delta T_{eau} = 39\ kJ.$$

31 Stop !

1. Il y a une conversion de l'énergie cinétique en énergie thermique par le biais du travail dû aux frottements des plaquettes de frein sur les disques de frein.

2. L'énergie transmise est l'énergie cinétique de la voiture :

$$\mathscr{E}_c = 7,5 \times 10^5\ J.$$

3. On utilise la relation qui lie la variation de température et la variation d'énergie interne de l'eau :

$$\Delta U = m \cdot c_{eau} \cdot \Delta T = \mathscr{E}_c \quad \text{soit } \Delta T = 36\ °C.$$

Il y a donc une élévation de la température de l'eau de 36 °C.

Pour aller plus loin

32 Récupérer de l'énergie gratuite dans la nature

1. Durant un cycle de fonctionnement, le système PAC :
– reçoit un travail électrique W qui est compté positivement ;
– reçoit, de la part de l'extérieur, le transfert thermique Q_{ext} qui est compté positivement ;
– fournit, à l'intérieur de l'habitation, un transfert thermique Q_{int} qui est compté négativement.

2. Par définition, et puisque la relation puissance-énergie s'écrit $\mathscr{P} = \frac{\mathscr{E}}{\Delta t}$, le coefficient de performance de la pompe à chaleur s'exprime par :

$$COP = -\frac{Q_{int}}{\Delta t} \cdot \frac{\Delta t}{W} = -\frac{Q_{int}}{W}$$

qui est bien positif puisque $Q_{int} < 0$ et $W > 0$.

3. On cherche la valeur de W :

$$W = -\frac{Q_{int}}{COP}$$

Or, pour chauffer cette habitation et la maintenir à T_{int}, il faut compenser les pertes thermiques qui ont été évaluées à $Q_{pertes} = -874$ kJ pour le système habitation pendant 3 heures.
Il faut donc que $Q_{int} = Q_{pertes}$. Il vient donc :

$$W = -\frac{-874}{4} \approx 219\ kJ.$$

Pour maintenir la température intérieure à T_{int} pendant 3 heures, cette PAC consomme environ $2,2 \times 10^2$ kJ.

4. Un COP supérieur à 1 montre que l'on récupère plus d'énergie (ici Q_{int} en valeur absolue) que ce que l'on consomme pour faire fonctionner la machine. Grâce à l'énergie gratuite fournie par l'air extérieur, ce genre de machine permet de réaliser des économies d'énergie.

33 Convection in Earth's mantle

Traduction du texte :
« Des fluides chauffés par le bas du récipient et loin des conditions d'équilibre de la conduction s'organisent en cellules de convection. Dans les conditions du manteau terrestre, les roches sont généralement considérées comme des fluides.
La convection mantellique est assez différente de la métaphore habituelle du pot posé sur une cuisinière. Le paramètre manquant dans les expériences de laboratoire et à la cuisine, dans la plupart des simulations informatiques, est la pression. Le manteau est chauffé par l'intérieur, se refroidit par-dessus et latéralement. Tous ces effets sont le moteur des mouvements de convection. »

1. Les trois modes de transfert thermique sont la conduction thermique, la convection thermique et le rayonnement.

2. C'est la convection thermique qui est principalement mise en jeu au sein d'un fluide dans une casserole et au sein du manteau terrestre.

3. La décroissance radioactive est responsable du chauffage interne des roches mantelliques.

4. Le modèle du fluide chauffé dans une casserole est trop simpliste. Si on retrouve bien le gradient de température à l'origine du mouvement de convection, il faut aussi tenir compte de la pression (facteur très important).

34 Que calor !

1. Les transferts thermiques par conduction et convection sont limités par le vide entre les parois ; le couvercle limite aussi la convection. Le rayonnement est limité grâce aux surfaces argentées réfléchissantes.

2. La variation d'énergie interne du système {cuivre} s'écrit :

$$\Delta U = m_2 \cdot c_2 \cdot (T_f - T_2)$$

Remarque : le bilan devrait être enthalpique et non en énergie interne, l'évolution se fait à pression constante et non à volume constant ; mais pour des phases condensées, il y a en général peu d'écart entre les variations d'énergie interne et celles d'enthalpie du système.

3. Ce système n'échange aucun travail ($W = 0$), mais il échange de l'énergie thermique :

- Q_a avec l'eau initialement froide, négative, car cédée par le cuivre (corps chaud) à l'eau (corps froid) ;
- Q_b avec le calorimètre, négative, car cédée par le cuivre (corps chaud) au calorimètre (corps froid).

4. D'après ce qui précède, la variation d'énergie interne du cuivre solide est donc :

$$\Delta U = m_2 \cdot c_2 \cdot (T_f - T_2) = Q_a + Q_b$$

$$m_2 \cdot c_2 \cdot (T_f - T_2) = -m_1 \cdot c_1 \cdot (T_f - T_1) - C_{cal} \cdot (T_f - T_1)$$

Il vient :

$$c_2 = -\frac{(m_1 \cdot c_1 + C_{cal}) \cdot (T_f - T_1)}{m_2 \cdot (T_f - T_2)}$$

$$c_2 = -\frac{(80,1 \times 4,19 + 8,5) \times (20,4 - 16,4)}{62,3 \times (20,4 - 75,0)}$$

$$c_2 \approx 0,404 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot {}^\circ\text{C}^{-1}.$$

5. Les sources d'erreur systématique sont dues à l'opérateur, au calorimètre (isolation thermique non parfaite, incertitude sur la valeur de C_{cal}), au thermomètre (mesures de T), à la balance (mesures de m) et à l'incertitude sur c_1.

Pour améliorer le résultat, il faut répéter plusieurs fois la mesure (par exemple, tenir compte des mesures de tous les binômes en TP), utiliser des balances et thermomètres de précision, un calorimètre très bien isolé.

35 Centrale électronucléaire

1. Le système {centrale} échange avec l'extérieur :

– un travail électrique W, compté négativement, car fourni à l'extérieur par la centrale ;

– un transfert thermique Q, compté positivement, car fourni à la centrale par l'extérieur (cœur du réacteur) ;

– un transfert thermique Q', compté négativement, car fourni à l'extérieur (circuit de refroidissement) par la centrale.

2. D'après la conservation de l'énergie pour ce système, l'énergie reçue par la centrale est égale à l'énergie fournie par la centrale :

$$Q = -W - Q' \quad \text{(puisque } W < 0 \text{ et } Q' < 0\text{)}.$$

3. Le rendement de conversion de la centrale est le rapport de l'énergie exploitable en sortie de chaîne et de l'énergie utilisée en entrée de chaîne :

$$\rho = \frac{-W}{Q} \quad \text{(puisque } W < 0\text{)}.$$

4. En combinant les deux relations précédentes, il vient :

$$Q' = -W - Q = -W + \frac{W}{\rho} = W\left(\frac{1}{\rho} - 1\right)$$

Q' est bien négatif, car $W < 0$ et $\rho < 1$.

5. L'eau du circuit de refroidissement reçoit le transfert thermique $(-Q') > 0$, donc son énergie interne et sa température vont augmenter.

6. a. En 600 s, la masse d'eau qui va circuler au contact de la centrale est :

$$m = 4,2 \times 10^4 \times 600 = 2,52 \times 10^7 \text{ kg}.$$

b. Pour l'eau liquide, transfert thermique et variation de température sont liés par :

$$-Q' = m \cdot c \cdot \Delta T$$

d'où : $$\Delta T = \frac{-Q'}{m \cdot c} = -\frac{W\left(\frac{1-\rho}{\rho}\right)}{m \cdot c}$$

AN :

$$\Delta T = -\frac{5,4 \times 10^{11} \times \left(\frac{1 - 0,33}{0,33}\right)}{2,52 \times 10^7 \times 4,18 \times 10^3} = 10,4 \text{ K}.$$

La température de l'eau s'élève d'environ 10 °C lors du fonctionnement de la centrale.

7. L'étude montre que plus le débit de l'eau est important, moins la variation de température est élevée.

36 Moteur de Stirling

1. a. Pour le système {gaz parfait}, le nombre de moles n et la température T restent constants lors de la transformation $1 \rightarrow 2$, mais le volume V et la pression P varient (voir l'équation d'état).

b. Compte tenu de ce qui précède :

$$W_{12} = \int_{V_1}^{V_2} -n \cdot R \cdot T \cdot \frac{dV}{V}$$

Puisque n, R et T ne varient pas, on peut écrire :

$$W_{12} = -n \cdot R \cdot T_C \cdot \int_{V_A}^{V_B} \frac{1}{V} \cdot dV$$

c. Par intégration :

$$W_{12} = -n \cdot R \cdot T_C \cdot \int_{V_A}^{V_B} \frac{1}{V} \cdot dV = -n \cdot R \cdot T_C \cdot [\ln V]_{V_A}^{V_B}$$

$$W_{12} = -n \cdot R \cdot T_C . (\ln V_B - \ln V_A) = n \cdot R \cdot T_C \cdot \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$$

d. La variation d'énergie interne du système s'écrit :

$$\Delta U_{12} = W_{12} + Q_{12}$$

e. Lors de cette transformation, la variation de température du système est nulle, donc celle de son énergie interne aussi. Ceci entraîne :

$$Q_{12} = -W_{12} = +n \cdot R \cdot T_C \cdot \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$$

Le transfert thermique est positif, car effectivement reçu par le système.

2. Pour le système {gaz parfait}, le nombre de moles n et le volume V restent constants lors de la transformation $2 \rightarrow 3$, mais la température T et la pression P varient (voir l'équation d'état).

Compte tenu de ce qui précède :

$$dV = 0, \quad \text{donc} \quad W_{23} = 0.$$

Le système n'échange pas de travail avec l'extérieur.

La variation d'énergie interne du système s'écrit :

$$\Delta U_{23} = W_{23} + Q_{23} = 0 + Q_{23}$$

Lors de cette transformation, la variation de température du système est $(T_F - T_C)$, donc celle de son énergie interne s'écrit :

$$\Delta U_{23} = n \cdot C_V \cdot (T_F - T_C)$$

Ceci entraîne :

$$Q_{23} = \Delta U_{23} = n \cdot C_V \cdot (T_F - T_C)$$

3. La puissance est liée au travail par :

$\mathcal{P} = \dfrac{W \cdot N}{\Delta t}$ où N est le nombre de cycles effectués pendant la durée Δt.

L'application numérique donne :

$$\mathcal{P} = \frac{-790 \times 1080}{60} \approx -14 \text{ kW}.$$

$\mathcal{P}$ est négative puisque cette puissance est fournie par le système à la génératrice.

4. Le rayonnement est le mode de transfert thermique mis en jeu au niveau de l'absorbeur.

Retour sur l'ouverture du chapitre

37 Double ou simple vitrage ?

1. Par lecture graphique, la température extérieure ($x = 0$ mm) est $T_e = 3,0$ °C et la température intérieure ($x = 24$ mm) est $T_i = 19,0$ °C.

2. Le flux thermique constant au cours du temps est le même à travers les différents matériaux (verre, air) traversés :

$$\varphi = \frac{|T_{e'} - T_e|}{R_{th\_vitre}}$$

d'où $T_{e'} = \varphi \cdot R_{th\_vitre} + T_e$

$$T_{e'} = 62,2 \times 1,4 \times 10^{-3} + 3,0 = 3,1 \text{ °C}.$$

La variation de température est très faible, d'où un segment pratiquement horizontal de $x = 0$ mm à $x = 4,0$ mm.

3. On utilise l'expression du flux thermique pour l'ensemble de la paroi :

$$R_{th\_tot} = \frac{|T_i - T_e|}{\varphi} = \frac{19,0 - 3,0}{62,2} = 0,26 \text{ K}\cdot\text{W}^{-1}.$$

4. a. À nouveau, on utilise la relation définissant le flux thermique :

$$\varphi = \frac{|T_i - T_e|}{R_{vitre}} = \frac{19,0 - 3,0}{8,3 \times 10^{-3}} = 1,92 \times 10^3 \text{ W}.$$

b. Avec un simple vitrage aussi épais qu'un double vitrage et de même surface, le flux thermique est $\frac{1,92 \times 10^3}{62,2} = 31$ fois plus important, donc les pertes d'énergie sont beaucoup plus grandes.

5. La paroi en verre présente un intérêt esthétique, mais une moins bonne résistance thermique.

Comprendre un énoncé

38 Thermographie et isolation

1. Le transfert thermique par rayonnement (domaine des infrarouges) permet à la caméra thermique embarquée dans l'avion de mesurer des flux thermiques.

2. Les toits sont chauffés principalement par convection grâce à l'air chaud de l'habitation.

3. On exploite la formule du flux :

$$R_{th\_toit} = \frac{|T_{int} - T_{ext}|}{\varphi} = \frac{|16 - (-1)|}{170 \times 10^3} = \frac{17}{17,0 \times 10^4}$$

$R_{th\_toit} = 1,0 \times 10^{-4}$ K·W^{-1}.

4. a. Pour ces deux parois superposées les résistances thermiques s'ajoutent :

$$R_{th\_toit} = R_{th\_laine} + R_{th\_toit}$$

b. La résistance thermique totale doit être 200 fois plus grande que celle du toit seul. La résistance thermique de la laine est donc égale à 199 fois la résistance thermique du toit.

$$R_{th\_laine} = \frac{e}{S \cdot \lambda} = R_{th\_tot} - R_{th\_toit} = 199\, R_{th\_toit}$$

donc $e = 199\, R_{th,toit} \cdot \lambda \cdot S$

soit $e = 199 \times 1,0 \times 10^{-4} \times 0,04 \times 100 \approx 8 \times 10^{-2}$ m.

Pour réduire les pertes thermiques par 200, il faut poser environ 8 cm de laine de verre.