Exercices d'application

5 minutes chrono !

1. Mots manquants

*Dans le manuel élève ont été corrigés les réponses aux mots manquants **a.** et également **j.** car la phrase **j.** a été modifiée ainsi : « L'énergie totale d'un système fermé est la somme de son… et de son… . »*

- ***a.*** constante d'Avogadro *(et non « mole »)*
- **b.** puissance ; plus
- **c.** grand
- **d.** interne ; microscopique
- **e.** température
- **f.** température
- **g.** différence ; systèmes ; équilibre
- **h.** conduction ; convection ; rayonnement
- **i.** Φ ; transfert thermique
- **j.** énergie interne : énergie mécanique *(à la place de : « somme ; transferts thermiques, système »)*

2. QCM

- **a.** 10^{25}
- **b.** augmente
- **c.** $C \times \Delta T$
- **d.** W
- **e.** $\dfrac{e}{\lambda \times S}$

Compétences exigibles

3. a. Microscope à effet tunnel.
b. Microscope à force atomique.

---

4. Les systèmes fermés sont :
- l'air dans un ballon de football de 6 L ;
- une cuillère à café en argent de 20 g dans une tasse pleine de café chaud.

---

5. L'ordre de grandeur du nombre d'entités de 200 g de paraffine est :

$$N = \frac{m \times N_A}{M} = \frac{200 \times 6,02 \times 10^{23}}{320} = 3,76 \times 10^{23}$$

L'ordre de grandeur est 10^{23} entités.
L'ordre de grandeur du nombre d'entités de 2 L d'eau liquide est :

$$N = \frac{m \times N_A}{M} = \frac{2 \times 10^{3} \times 6,02 \times 10^{23}}{18} = 6,7 \times 10^{25}$$

L'ordre de grandeur est 10^{26} entités. *Dans les corrigés d'exercices du spécimen, il était écrit 10^{25} entités ; cette erreur a été corrigée dans le manuel élève.*

L'ordre de grandeur du nombre d'entités d'une cuillère en argent de 20 g est :

$$N = \frac{m \times N_A}{M} = \frac{20 \times 6,02 \times 10^{23}}{108} = 1,1 \times 10^{23}$$

L'ordre de grandeur est 10^{23} entités.

---

6. a. Les deux systèmes à étudier sont le radiateur et l'air de la chambre.
b. C'est une convection qui a lieu entre ces deux systèmes.
c. Le transfert thermique s'établit du radiateur vers l'air de la chambre étant donné que la température de la chambre est inférieure à celle du radiateur.

---

7. a. Le type de transfert thermique à l'intérieur du morceau de cuivre est une conduction.
b. La variation d'énergie interne du morceau de cuivre est égale à :

$$\Delta \mathcal{U} = C_{\text{Cu}} \times \Delta T = 173,7 \times (90 - 20) = 1,2 \times 10^4 \text{ J}$$

---

8. a. Le flux thermique à travers un simple vitrage est égal à :

$$\Phi = \frac{\lambda \times S \times \Delta T}{e} = \frac{1,2 \times 2,0 \times (20 - 0)}{5,0.10^{-3}} = 9,6 \times 10^3 \text{ W}$$

b. Le flux thermique à travers un mur de béton est égal à :

$$\Phi = \frac{\lambda \times S \times \Delta T}{e} = \frac{1,4 \times 20 \times (20 - 0)}{20 \times 10^{-2}} = 2,8 \times 10^3 \text{ W}$$

---

9. a. La résistance thermique d'un mur de brique est égale à :

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda \times S} = \frac{10 \times 10^{-2}}{0,67 \times 15} = 1,0 \times 10^{-2} \text{ K·W}^{-1}$$

b. La résistance thermique d'un mur composé de brique, de parpaing et de plâtre est égale à :

$$R_{\text{th}} = R_{\text{th}} \text{ (brique)} + R_{\text{th}} \text{ (parpaing)} + R_{\text{th}} \text{ (plâtre)}$$

$$R_{\text{th}} = \frac{10 \times 10^{-2}}{0,67 \times 15} + \frac{30 \times 10^{-2}}{1,15 \times 15} + \frac{2,0 \times 10^{-2}}{0,8 \times 15} = 2,9 \times 10^{-2} \text{ K·W}^{-1}$$

Compétences générales

10. a. La température du gaz dans le ballon à l'équilibre thermique vaut 20°C.
b. Le volume du ballon est égal à :

$$V = \frac{4}{3} \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^3 = 4,2 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

c. La quantité de matière d'hélium dans le ballon vaut :

$$n = \frac{V}{V_m} = \frac{4,2}{24} = 1,8 \times 10^{-1} \text{ mol}$$

Le nombre d'atomes d'hélium dans le ballon est alors égal à :

$$N = n \times N_A = 1,1 \times 10^{23}$$

---

11. Rosa a raison, les glaçons vont se réchauffer moins vite si on les met dans une écharpe en laine. En effet, la résistance thermique élevée de l'écharpe en laine permet de diminuer le flux thermique entre l'air et les glaçons et donc d'augmenter la durée de fonte de ces glaçons.

---

12. a. L'énergie nécessaire pour chauffer, par transfert thermique, 200 litres d'eau de 15°C à 17° C est égale à :

$$\mathcal{E} = \Delta\mathcal{U} = C_{\text{eau}} \times \Delta T = 200 \times 10^{-3} \times 10^{3} \times 4180 \times (37 - 15) = 1{,}8 \times 10^{7}\ \text{J}$$

b. L'énergie délivrée par une ampoule est égale à :

$$\mathcal{E} = \mathcal{P} \times \Delta t$$

Ainsi une ampoule peut briller avec une telle énergie pendant une durée égale à :

$$\Delta t = \frac{\mathcal{E}}{\mathcal{P}} = \frac{1{,}8 \times 10^{7}}{60} = 3{,}0 \times 10^{5}\ \text{s} = 3{,}5\ \text{jours !}$$

c. Pour économiser l'énergie, il est donc important d'éteindre la lumière dès que l'on sort d'une pièce, mais il est encore plus important de prendre moins de bains ou de moins chauffer l'eau !

---

13. a. Le flux thermique vaut :

$$\Phi = \frac{\lambda \times S \times \Delta T}{e}$$

Ainsi, la conductivité thermique du matériau constituant le mur est égale à :

$$\lambda = \frac{\Phi \times e}{S \times \Delta T} = \frac{210 \times 0{,}20}{20 \times (22 - 8{,}0)} = 0{,}15\ \text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$$

b. Le matériau composant ce mur est donc du bois de sapin.

---

14. a. Un système fermé est une portion d'espace limitée par une surface qui n'échange pas de matière avec l'extérieur. Ce système est condensé si la matière étudiée est liquide ou solide.

b. La variation $\Delta\mathcal{E}$ de l'énergie totale d'un système est égale à la somme des travaux échangés avec l'extérieur $\mathcal{W}$ autres que ceux des forces conservatives et du transfert thermique Q échangé avec le milieu extérieur :

$$\Delta\mathcal{E} = \Delta\mathcal{U} + \Delta\mathcal{E}_{\text{c}} + \Delta\mathcal{E}_{\text{p}} = \mathcal{W} + Q$$

avec $\Delta\mathcal{E}, \Delta\mathcal{U}, \Delta\mathcal{E}_{\text{c}}, \Delta\mathcal{E}_{\text{p}}, \mathcal{W}$ et Q en joules (J).

c. La variation d'énergie interne de ce système est égale à :

$$\Delta\mathcal{U} = C \times \Delta T$$

De plus, si on considère que ce système est immobile :

$$\Delta\mathcal{E}_{\text{c}} = \Delta\mathcal{E}_{\text{p}} \text{ donc } \Delta\mathcal{U} = \mathcal{W} + Q$$

d. On trouve que :

$$\Delta\mathcal{U} = \mathcal{W} + Q = C \times \Delta T$$

Ainsi,

$$\Delta T = \frac{\mathcal{W} + Q}{C}$$

Si le système n'échange plus d'énergie, ni par transfert thermique, ni par transfert mécanique avec l'extérieur, $\mathcal{W} = Q = 0$, ce qui signifie que $\Delta T = 0$.

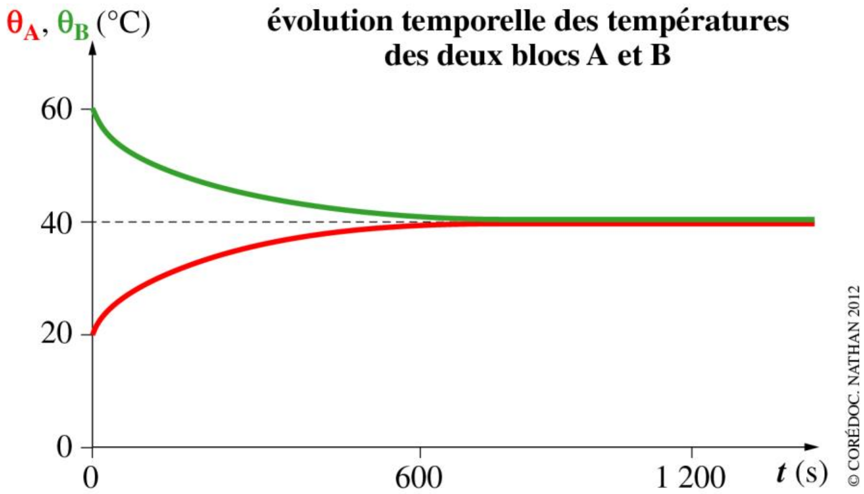
Le système est à l'équilibre thermique.

Exercices de méthode

15. *Exercice résolu.*

---

16. a. L'évolution temporelle des températures des deux blocs A et B peut être représentée de la façon suivante :



b. D'après le graphique précédent, la valeur de la température à l'équilibre est environ égale à 40°C. Étant donné l'imprécision du graphique, on peut donc considérer que :

$$\theta_{A,f} = \theta_{B,f} = 4 \times 10^1 \text{ °C (avec un seul chiffre significatif)}$$

c. Dans ce contact, le transfert thermique se produit du corps B vers le corps A.

d. Le type de transfert thermique impliqué dans l'établissement de l'équilibre thermique est la conduction.

e. Les blocs A et B sont immobiles. Ainsi, pour chaque bloc, $\Delta\mathscr{E}_c = \Delta\mathscr{E}_p = 0$; donc :

$$\Delta\mathscr{E} = \Delta\mathscr{U} = \mathscr{W} + Q = C \times \Delta T$$

On trouve donc que :

$$\Delta\mathscr{E}_A = \Delta\mathscr{U}_A = C_A \times \left(\theta_{A,i} - \theta_{A,f}\right) = 200 \times \left(4 \times 10^1 - 20,2\right) = 4 \times 10^3 \text{ J}$$

$$\Delta\mathscr{E}_B = \Delta\mathscr{U}_B = C_B \times \left(\theta_{B,i} - \theta_{B,f}\right) = 200 \times \left(4 \times 10^1 - 60,5\right) = -4 \times 10^3 \text{ J}$$

$\Delta\mathscr{E}_A > 0$ car le bloc A était initialement plus froid que le bloc B et il a reçu de l'énergie du bloc B.

$\Delta\mathscr{E}_B < 0$ car le bloc B était initialement plus chaud que le bloc A et il a donné de l'énergie au bloc A.

f. Le bilan d'énergie pour le système {A + B} vaut :

$$\Delta\mathscr{E} = \Delta\mathscr{E}_A + \Delta\mathscr{E}_B = 4 \times 10^3 - 4 \times 10^3 = 0$$

Le bilan d'énergie pour ce système est nul car il n'y a pas d'échanges thermiques entre ce système et l'extérieur étant donné qu'il se trouve dans une enceinte calorifugée, sans contact avec un autre système.

---

17. a. Si on ne tient pas compte des frottements, l'énergie totale du système {bille} est conservée : $\mathscr{E}_i = \mathscr{E}_f =$ cte et son énergie interne $\mathscr{U}$ est constante au cours du temps.

Comme $\mathscr{E}_i = \mathscr{E}_{c_i} + \mathscr{E}_{pp_i} + \mathscr{U}_i = \frac{1}{2}mv + 0 + \mathscr{U}$ (car la bille est à une altitude nulle à l'instant initial) et $\mathscr{E}_f = \mathscr{E}_{c_f} + \mathscr{E}_{pp_f} + \mathscr{U}_f = 0 + mgh_0 + \mathscr{U}$ (car la vitesse de la bille est nulle lorsque la bille a atteint son altitude maximale), on trouve que :

$$\tfrac{1}{2} mv_0^2 = mgh_0$$

Ainsi :

$$h_0 = \frac{v_0^2}{2g}$$

Remarque : si on ne tient pas compte des frottements, il est aussi possible de dire que l'énergie mécanique du système $\mathscr{E}_m = \mathscr{E}_c + \mathscr{E}_{pp}$ est conservée.

b. Si on tient compte des frottements, l'énergie totale du système {bille} n'est pas conservée : $\mathscr{E}_i > \mathscr{E}_f$ et son énergie interne $\mathscr{U}$ varie au cours du temps car une partie des forces de frottements se dissipe dans l'air ambiant et l'autre moitié dans la bille.

La variation $\Delta\mathscr{E}$ de l'énergie totale du système est alors égale au travail des forces de frottement se dissipant dans l'air ambiant :

$$\mathscr{W}_{air} = \Delta\mathscr{E} = \Delta\mathscr{U} + \Delta\mathscr{E}_c + \Delta\mathscr{E}_{pp}$$

De plus, la variation de l'énergie interne est due au travail des forces de frottement se dissipant dans la bille :

$$\mathscr{W}_{bille} = \Delta\mathscr{U} = C \times \Delta T$$

Enfin, sachant que le travail des forces de frottement se dissipe à moitié dans l'air ambiant et à moitié dans la bille, on trouve que $|\mathscr{W}_{bille}| = |\mathscr{W}_{air}|$.

Remarque : $\mathscr{W}_{air} < 0$ car l'énergie est donnée à l'extérieur ;

$\mathscr{W}_{bille} > 0$ car l'énergie est donnée au système.

Ainsi : $\Delta\mathscr{U} + \Delta\mathscr{E}_c + \Delta\mathscr{E}_{pp} = \mathscr{W}_{air} = -\mathscr{W}_{bille} = -\Delta\mathscr{U}$.

D'où :

$$2\Delta\mathscr{U} = -\Delta\mathscr{E}_c - \Delta\mathscr{E}_{pp}$$

$$\begin{aligned} 2C \times \Delta T &= -\left(\mathscr{E}_{c_f} - \mathscr{E}_{c_i}\right) - \left(\mathscr{E}_{pp_f} - \mathscr{E}_{pp_i}\right) \\ &= \left(\mathscr{E}_{c_i} - \mathscr{E}_{c_f}\right) + \left(\mathscr{E}_{pp_i} - \mathscr{E}_{pp_f}\right) \\ &= \mathscr{E}_{c_i} - \mathscr{E}_{pp_f} \quad \text{car} \quad \mathscr{E}_{c_f} = \mathscr{E}_{pp_i} = 0 \end{aligned}$$

$$\Delta T = \frac{\mathscr{E}_{c_i} - \mathscr{E}_{pp_f}}{2}$$

D'après la question **a.**, on sait que $\mathscr{E}_{c_i} = \frac{1}{2}mv_0^2 = mgh_0$;

De plus, $\mathscr{E}_{pp_f} = mgh$.

Finalement :

$$\Delta T = \frac{mgh_0 - mgh}{2C} = \frac{mg(h_0 - h)}{2C}$$

c. En effectuant les applications numériques, on trouve que :

$$h_0 = \frac{(10)^2}{2\times 9{,}81} = 5{,}1 \text{ m}$$

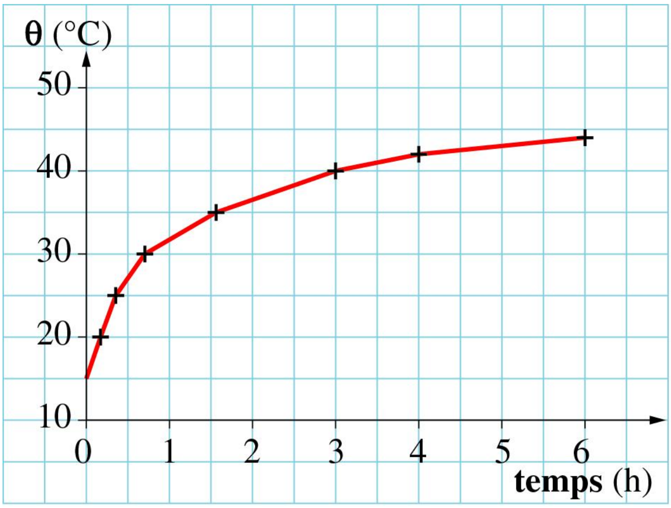
$$\Delta T = \frac{0{,}100\times 9{,}81\times\left(\dfrac{(10)^2}{2\times 9{,}81} - 5{,}0\right)}{2\times 40} = 1{,}2\times 10^{-3} \text{ K}$$

L'échauffement de la bille est donc insignifiant.

Exercices d'entraînement

18. 1. a. Transfert thermique par rayonnement (électromagnétique).

b.



L'évolution est de type exponentiel.

2. a. La température de l'eau lors de la mise en fonctionnement est 15°C.Celle au bout de 5h30 est de 43°C, elle est déterminée par lecture graphique.

b. On utilise :

$$\Delta\mathcal{U} = m\times C\times\Delta T$$

A.N. : $$\Delta\mathcal{U} = 8{,}36\times 10^4 \times (43 - 15) = 2{,}3\times 10^6 \text{ J}$$

---

19. a. On utilise $\Delta\mathcal{U} = m\times C\times\Delta T$.

A.N. : $$\Delta\mathcal{U} = 8{,}9\times 10^4 \times (23 - 18) = 4{,}5\times 10^5 \text{ J}$$

b. $\mathcal{P} = \dfrac{\Delta\mathcal{U}}{\Delta t}$, ce qui conduit à :

$$\Delta t = \frac{\Delta\mathcal{U}}{\mathcal{P}}$$

A.N. : $$\Delta t = \frac{4{,}5\times 10^5}{1800} = 2{,}5\times 10^2 \text{ s soit } 4{,}1 \text{ min}$$

---

20. a. $M = \rho V = \rho e S = 917 \times 1{,}0\times10^{-2} \times 580\times 10^{6} = 53{,}186\times10^{8}$ kg $= 53{,}186\times10^{5}$ t $= 5{,}3\times10^{9}$ kg.

b. La quantité d'énergie nécessaire pour faire fondre toute la glace est :

$$\mathcal{E} = 5{,}3\times10^{9} \times 335\times10^{3} = 1{,}8\times 10^{15}\ \text{J}\ (= 1800\ 000\ \text{GJ})$$

c. Le lac a une surface de 580 km^2, ce qui correspond à une puissance absorbée ou reçue due au rayonnement solaire de :

$$\mathcal{P}_{\text{reçue}} = 0{,}1 \times \text{puissance surfacique} \times \text{S} = 0{,}1 \times 340 \times 580\times10^{6} = 2{,}0\times10^{10}\ \text{W}$$

Par ailleurs, $\mathcal{P} = \dfrac{\mathcal{E}}{\Delta t}$ soit $\Delta t = \dfrac{\mathcal{E}}{\mathcal{P}} = \dfrac{1{,}8\times10^{15}}{2{,}0\times10^{10}} = 90\ 000\ \text{s} = 9\times10^{4}\ \text{s} = 25\ \text{h}$.

Attention, il s'agit de 25 heures de rayonnement maximum. En hiver, cela correspond à 3/4 heures par jour. La durée réelle de débâcle est d'environ 1 semaine…

d. 1 kWh est égal à une énergie de 3,6 MJ ($3{,}6\times10^{6}$ J). L'énergie nécessaire pour faire fondre la glace est de $1{,}8\times 10^{15}$ J. Cela correspond à $\dfrac{1{,}8\times10^{15}}{3{,}6\times10^{6}} = 5\times10^{8}$ kWh.

Le prix du kWh est de 10 centimes d'euros soit un coût total de 50 000 000 euros.

---

21. a. L'énergie électrique est transformée en énergie lumineuse. Le principe d'émission des LED reposent sur leur caractère semi-conducteur. Il existe un phénomène quantique de recombinaison trou-électron qui conduit à l'émission des photons, sources de lumière.

b. L'énergie électrique est transformée en rayonnement électromagnétique.

c. D'une part, elle chauffe beaucoup plus que les LED, d'autre part, le filament s'use littéralement lors de l'émission du rayonnement. La durée de vie est donc moindre et les déchets plus importants.

d. Les LED ont plusieurs avantages :

- un allumage instantané ;
- une insensibilité aux allumages répétés et aux basses températures ;
- un faible dégagement de chaleur ;
- une durée de vie quasi illimitée qui varie de 50 000 à 100 000 heures (soit 5 fois plus qu'une lampe basse conso fluo-compacte) ;
- une résistance aux chocs supérieure aux fluo-compactes.

Idéales pour un éclairage ponctuel (lampe de chevet, veilleuse, guirlande…), les LED sont des ampoules écologiques produisant ni UV ni mercure. L'un des inconvénients de la LED est son prix qui reste encore élevé, quoiqu'il soit extrêmement rentable à l'usage. Aujourd'hui, les LED restent encore essentiellement réservés à un usage décoratif ou un éclairage d'appoint.

Il existe actuellement trois types d'ampoules à économies d'énergie disponibles sur le marché :

- les LED ;
- les tubes fluorescents ;
- les ampoules fluo-compactes ;

Dans le cadre de la loi Grenelle, le 23 octobre 2008, le ministère de l'écologie a signé avec les professionnels, fabricants et distributeurs, une convention qui les engage sur un calendrier de retrait progressif du marché des ampoules à incandescence entre le 30 juin 2009 et le 31 décembre 2012.

http://www.partenaire-europeen.fr/Actualites-Conseils/Energie/Developpement-durable/LED-lampe-a-economie-d-energie-20090205

---

22. a. $\mathscr{E}_c = \frac{1}{2}mv$ d'où $\mathscr{E}_c = 0,5 \times 160 \times \frac{36000}{3600} = 800$ J.

b. $\mathscr{E}_c = \Delta\mathscr{U} = C \times \Delta T$ soit $\Delta T = \frac{\mathscr{E}_c}{\Delta\mathscr{U}}$.

A.N. : $$\Delta T = \frac{800}{39} = 21°C = 21 \text{ K}$$

c. - Faux. L'énergie cinétique de la moto ne se conserve pas. Elle diminue !
- Vrai. L'énergie cinétique de la moto diminue.
- Faux. Les forces frottements travaillent et il y a transfert thermique.

---

23. a.

On sait que $\Phi = \lambda\frac{S}{e}(T_A - T_B)$ et par ailleurs $U = RI$.

Par analogie : $(T_A - T_B)$ est analogue à U, I à Φ.

b. $R_{\text{éléc}} = \frac{L}{\gamma S}$ par lecture du texte.

c. La résistance thermique peut être considérée comme le coefficient de proportionnalité entre le flux thermique et la différence de température générant ce flux et donc $R_{\text{élec}}$ est analogue à :

$$R_{\text{th}} = \frac{e}{\lambda S} \text{ où } e = L\text{, la longueur de la tige dans cet exercice.}$$

d. $R = 7,6\times10^{-5}$ Ω et $R_{\text{th}} = 1,0\times10^{1}$ K·W^{-1}.

e. Le flux thermique se calcule alors par :

$$\Phi = \frac{\Delta T}{R_{th}} = \frac{80}{1,0\times10^{1}} \text{ W}$$

En calculant avec les valeurs numériques non arrondies, on obtient Φ = 7,6 W.

---

24. 1. Le sucre possède une énergie potentielle initiale $\mathscr{E}_p = mgh$ (on a pris l'origine des $\mathscr{E}_p$ au niveau du café) et pas d'énergie cinétique initiale (la chute est sans vitesse initiale). Il y a alors conversion d'énergie potentielle en énergie cinétique.
Au niveau du café, $\mathscr{E}_c = mgh$.

2. a. $\Delta\mathscr{U} = C_{\text{sugar}} \times \Delta T = mgh$.

b. Le sucre ne refroidit pas le café, il arrive donc au moment de l'impact avec une température de 50°C, celle du café. Ce qui conduit à :

$$h = \frac{C_{\text{sugar}} \times \Delta T}{mg}$$

$$\text{A.N. : } h = \frac{2,5\times(50-20)}{0,0050\times9,81} = 1,5\times10^{3} \text{ m} = 1,5 \text{ km !}$$

c. Ce calcul montre l'inanité d'une telle entreprise ! Il apparaît difficile de viser correctement la tasse de cette hauteur. Les éclaboussures produites lors de l'impact risquent de vider la tasse.
On a par ailleurs négliger les frottements sur le sucre (critique de la première phase) et le choc avec le café génère un transfert d'énergie cinétique au fluide café. Celui-ci est éjecté de la tasse…

---

25. *Dans le manuel élève, θ_{ext} = -5,0°C : un chiffre significatif a été ajouté.*

a. On utilise la formule de la résistance thermique :

$$R_{\text{th}} = \frac{e}{\lambda S} \quad \text{et} \quad \Phi = \frac{\Delta T}{R_{th}}$$

Les résistances thermiques des double et triple vitrages se déterminent en ajoutant les résistances thermiques des éléments les constituant (verre + air + verre).

Simple vitrage	$R_{\text{th}}(\text{verre}) = 8{,}3\times10^{-4}\ \text{K·W}^{-1}$	$\Phi = \dfrac{\Delta T}{R_{\text{th}}} = 3{,}0\times10^{4}\ \text{W}$
Double vitrages	$R_{\text{th}} = 2R_{\text{th}}(\text{verre}) + R_{\text{th}}(\text{air}) = 0{,}12\ \text{K·W}^{-1}$	$\Phi = \dfrac{\Delta T}{R_{\text{th}}} = 2{,}2\times10^{2}\ \text{W}$
Triple vitrages	$R_{\text{th}} = 3R_{\text{th}}(\text{verre}) + 2R_{\text{th}}(\text{air}) = 0{,}23\ \text{K·W}^{-1}$	$\Phi = \dfrac{\Delta T}{R_{\text{th}}} = 1{,}1\times10^{2}\ \text{W}$

Remarque : les calculs sont effectués sans arrondir les résultats intermédiaires.

b. La configuration la plus isolante est bien celle du triple vitrage. Le flux thermique est réduit d'un facteur 300 en comparaison d'un simple vitrage.

---

26. *Dans le manuel élève, θ_1 = 15,0°C et θ_f = 30,0°C : un chiffre significatif a été ajouté à chacune de ces valeurs.*

a. Les différents systèmes en contact sont : la masse d'eau froide, la masse d'eau chaude et le calorimètre.

b. Avant le mélange, le calorimètre et la masse d'eau froide sont à la même température $\theta_1 = 15°\text{C}$. Après le mélange, la température de l'ensemble évolue vers une valeur unique $\theta_f = 30°\text{C}$.

c. La variation d'énergie interne de l'ensemble est nulle puisqu'il n'y a aucun échange avec l'extérieur.

d. $\Delta\mathcal{U}(\text{ensemble}) = 0 = \Delta\mathcal{U}(\text{eau froide}) + \Delta\mathcal{U}(\text{eau chaude}) + \Delta\mathcal{U}(\text{calorimètre})$.

$\Delta\mathcal{U}(\text{ensemble}) = m(\text{eau froide}) \times 4180 \times (\theta_f - \theta_1) + m(\text{eau chaude}) \times 4180 \times (\theta_f - \theta_2) + C_{\text{calorimètre}} \times (\theta_f - \theta_1)$

A.N. :

$\Delta\mathcal{U}(\text{ensemble}) = 0{,}200 \times 4180\times(30 - 15) + 0{,}200 \times 4180\times(30 - 45{,}9) + C_{\text{calorimètre}} \times(30 - 15)$

$\Delta\mathcal{U}(\text{ensemble}) = 0{,}200 \times 4180\times(30 - 15 + 30 - 45{,}9) + C_{\text{calorimètre}} \times(30 - 15)$

$\Delta\mathcal{U}(\text{ensemble}) = 0{,}200 \times 4180\times(-0{,}9) + C_{\text{calorimètre}} \times 15$

D'où : $C_{\text{calorimètre}} = \dfrac{0{,}200\times4180\times0{,}9}{15} = 50\ \text{J·K}^{-1}$.

On en déduit la masse en eau du calorimètre :

$$\mu = \frac{50}{4180} = 12\times10^{-3}\ \text{kg} = 12\ \text{g}$$

Cette valeur permet de remplacer dans les calculs les caractéristiques du calorimètre par une masse virtuelle μ d'eau. On ne réfléchit donc plus qu'en termes d'échanges entre corps introduits et eau.

---

27. a. Le récipient isolé thermiquement nous permet de considérer qu'il n'y a aucun transfert thermique avec l'extérieur.

- Protocole 1 : l'énergie électrique apportée pendant Δt est entièrement transférée à l'eau soit $\mathcal{P}_{\text{élec}} \times \Delta t = C_{\text{eau}} \times \Delta T$. On peut donc calculer C_{eau}.
- Protocole 2 : l'énergie interne du morceau de cuivre est intégralement transférée à l'eau : $\Delta\mathcal{U}\,(\text{cuivre}) = \Delta\mathcal{U}\,(\text{eau})$ soit $C_{\text{cuivre}}(T_{\text{f}} - T_{\text{i}}\,(\text{cuivre})) = C_{\text{eau}}(T_{\text{f}} - T_{\text{i}}(\text{eau}))$.
  Tous les paramètres sont connus ou mesurables sauf C_{eau}, calculable par l'équation.

b. Le protocole 1 peut être considéré comme le plus fiable car il dure moins longtemps. Le critère d'adiabaticité du récipient (pas de transfert thermique avec l'extérieur) ne tient plus sur une période longue. Les pertes augmentent forcément avec le temps.

---

28. *Dans le manuel élève, une précision a été ajoutée : le mur en béton a une épaisseur e = 10 cm.*

Les résistances thermiques s'ajoutent :

$$R_{\text{th}} = \frac{e_{\text{mur}}}{\lambda_{\text{mur}} \times S} + \frac{e_{\text{poly}}}{\lambda_{\text{poly}} \times S} + \frac{e_{\text{platre}}}{\lambda_{\text{platre}} \times S} + \frac{e_{\text{enduit}}}{\lambda_{\text{enduit}} \times S}$$
$$= \frac{0,10}{1,4 \times 30} + \frac{0,05}{0,036 \times 30} + \frac{0,01}{0,70 \times 30} + \frac{0,015}{1,15 \times 30}$$
$$= 5,0 \times 10^{-2}\ \text{K} \times \text{W}^{-1}$$

Le flux thermique est alors égal à :

$$\Phi = \frac{\Delta T}{R_{\text{th}}} = \frac{25}{0,050} = 5,0 \times 10^{2}\ \text{W}$$

Ce flux non nul contribue à diminuer la température de la première chambre (20°C) et d'augmenter celle de la seconde (-5°C). Il faut le réduire au minimum en augmentant la résistance thermique au maximum. On peut superposer de nouvelles couches de matériaux ou ajouter un unique matériau possédant une grande conductivité thermique.

Exercices de synthèse

29. Il y a quatre éléments engagés dans les échanges thermiques : aluminium, fer, eau et calorimètre. En calculant la masse en eau du calorimètre (exercice **26**), on réduit ce nombre à trois : aluminium, fer et eau. Le transfert thermique associé est la conduction thermique.
La température finale doit répondre à l'équation suivante :

$$0 = C_{\text{alu}}(\theta_{\text{f}} - \theta_1) + C_{\text{fer}}(\theta_{\text{f}} - \theta_2) + C_{\text{eau}}(\theta_{\text{f}} - \theta_3)$$

soit : $$\theta_{\text{f}} = \frac{C_{\text{alu}}\theta_1 + C_{\text{fer}}\theta_2 + C_{\text{eau}}\theta_3}{C_{\text{alu}} + C_{\text{fer}} + C_{\text{eau}}} = 33°\text{C}$$

On peut donc en conclure que les transferts thermiques s'effectuent de l'aluminium vers le fer et vers l'eau !!

---

30. a. Une puissance est une énergie divisée par une durée : $\mathcal{P} = \dfrac{\mathcal{E}}{\Delta t}$.

Ici : $$\mathcal{P} = \frac{8,610 \times 10^{6}}{3600 \times 24} = 1,0 \times 10^{2}\ \text{W}$$

b. Le diesel est le plus énergétique des éléments présentés dans le tableau. Il est analogue, en terme énergétique, au chocolat ou à l'huile végétale.

c. Nous avons besoin de 8 610 kJ par jour ce qui correspond à une quantité de diesel :

$$m = \frac{8610}{47000} = 0{,}183 \text{ kg} = 183 \text{ g soit presque un verre de table de 200 g !}$$

---

31. 1. L'énergie cinétique du muon est intégralement transférée au bolomètre sous forme de transfert thermique.

a. $C_\mathrm{b} \times \Delta T = \mathscr{E}_\mathrm{c}$ soit $\Delta T = \dfrac{\mathscr{E}_\mathrm{c}}{C_\mathrm{b}}$.

A.N. : $\Delta T = \dfrac{0{,}5 \times 1{,}88 \times 10^{-28} \times \left(200 \times 10^{3}\right)^2}{100} = 3{,}8 \times 10^{-20}$ K, ce qui est indétectable !

b. En réduisant considérablement la capacité thermique du bolomètre, on peut espérer détecter un écart de température et donc une signature du muon cosmique.

2. a. Conversion en joule : les WIMPS ont une énergie comprise entre $1{,}6 \times 10^{-16}$ J et $1{,}6 \times 10^{-14}$ J.

b. Lorsque l'énergie du WIMP est de 10 keV ($1{,}6 \times 10^{-15}$ J), elle est transférée thermiquement au bolomètre :

$$C_\mathrm{b} \times \Delta T = \mathscr{E}_\mathrm{WIMP} \text{ soit } \Delta T = \frac{\mathscr{E}_\mathrm{WIMP}}{C_\mathrm{b}}$$

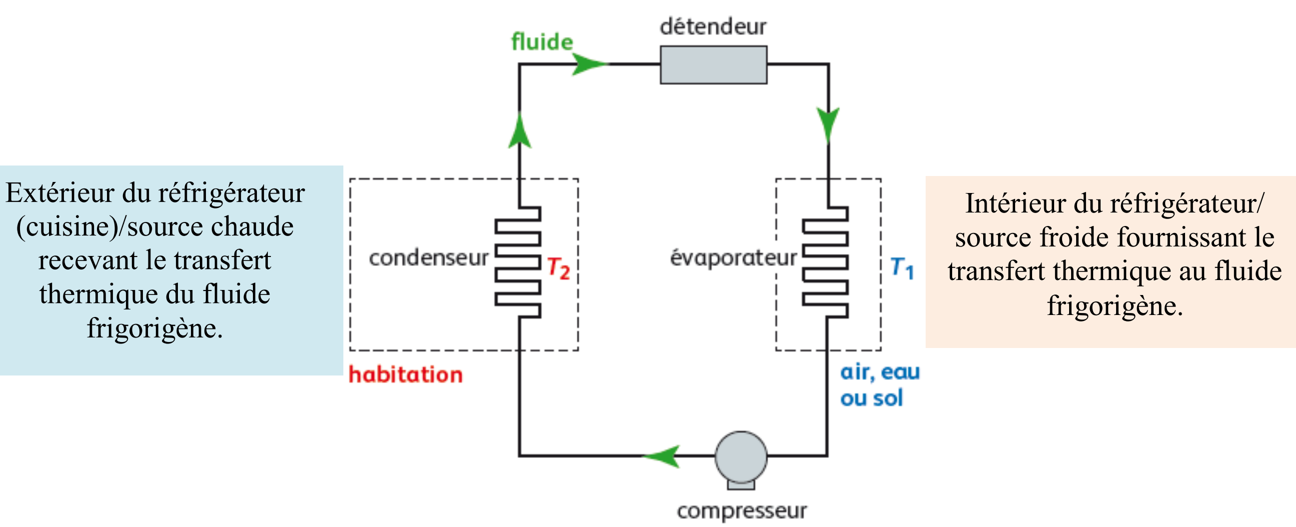
$$\text{A.N. : } \Delta T = \frac{1{,}6 \times 10^{-15}}{15 \times 10^{-10}} = 1{,}0\ \mu\text{K}$$

3. La détection aux très basses températures permet de gagner 12 ordres de grandeurs de variation de température. Le micro kelvin est mesurable dans un système de réfrigération à dilution. Le problème reste de trouver un thermomètre suffisamment sensible.

---

32. a. Le texte précise que le système reçoit, dans l'évaporateur, un transfert thermique Q_1. Celui-ci est donc positif car reçu par le système. De façon analogue, le transfert thermique Q_2 est fourni par le système donc négatif.

b. Les éléments constituants le réfrigérateur sont les mêmes que pour la pompe à chaleur.



c. L'énoncé précise que la variation d'énergie interne $\mathcal{U}$ sur un cycle est nulle. On peut profiter de l'occasion pour dire que $\mathcal{U}$ est une fonction d'état et ne dépend que de l'état de départ et d'arrivée d'une transformation, le même dans le cas d'un cycle.

$$\Delta\mathcal{U}\,(\text{fluide}) = Q + \mathcal{W} = Q_1 + Q_2 + \mathcal{W} = 0$$

C'est donc le travail échangé lors du cycle qui doit compléter le bilan énergétique. Ce travail correspond en général au travail mécanique du compresseur lors de la compression.

d. Plus les températures du condenseur et de l'évaporateur sont proches, plus l'efficacité est élevée. On peut calculer l'efficacité avec $T_2 = 273 + 18 = 291$ K et $T_1 = 273 + (-2) = 271$ K :

$$\eta = \frac{291}{20} = 15$$

e. L'efficacité réelle s'écrit donc :

$$\eta_{\text{réelle}} = \frac{|Q_2|}{\mathcal{W}} \text{ et } \Delta\mathcal{U} = \mathcal{W} + Q_1 + Q_2$$

On a donc $|Q_2| = |\mathcal{W} + Q_1| = \mathcal{W} + Q_1 > \mathcal{W}$ ($\mathcal{W}$ et Q_1 sont positifs).

On en déduit donc : $\eta_{\text{réelle}} = \dfrac{\mathcal{W} + Q_1}{\mathcal{W}} > 1$; ce qu'il fallait démontrer.

L'indice de performance supérieur à 1 montre clairement que pour 1 kWh utilisé par le compresseur, on récupère $\eta_{\text{réelle}}$ kWh > 1 kWh. L'intérêt économique semble évident.

---

33. Exemple de rédaction de synthèse de documents

Lorsqu'un engin spatial pénètre dans l'atmosphère terrestre lors de son retour sur terre, sa structure est soumise à des frottements très importants. La température du matériau externe peut atteindre plus de 1 600 °C. Ce matériau externe porte bien son nom de bouclier thermique. C'est un matériau composite qui doit être très résistant mécaniquement et thermiquement. Il est constitué de tuiles réfractaires positionnées de façon stratégique sur la face exposée de l'engin.

Lorsqu'un problème survient, la situation peut être dramatique. Des dégâts sur le bouclier thermique peuvent conduire à la destruction de l'engin spatial. L'une des ressources évoque le cas de la navette spatiale américaine Columbia qui explosa en vol en 2003. Les conclusions de l'enquête évoquent une destruction localisée du bouclier thermique par un objet s'étant détaché de la navette.

Les solutions futures de bouclier thermique doivent présentées deux avantages :

- la mise en place simplifiée : les tuiles actuelles sont de petites tailles ce qui peut générer des défauts aux jointures lors de la pose ;
- l'inspection systématique simplifiée.

Il est difficile et laborieux d'inspecter une multitude de tuiles.

Finalement, le projet « Shingle » semble proposer une solution intéressante. Des tuiles de plus grandes tailles ($1 m^2$), encadrées dans une structure permettant l'installation sans problème de jointure.
Ce projet est développé par le CNES et participe à l'élaboration de l'engin spatial du futur PRE-X.

---

6. a. L'énergie emmagasinée $\mathcal{E}$ dans le ressort est dissipée sous forme de travail $\mathcal{W}$ des forces de frottements fluides dans l'eau. Ce travail génère un transfert thermique Q (égal à $\mathcal{W}$ si on admet un rendement de 1) entre les pales de l'hélice et l'eau. Il y a alors échauffement de l'eau.

Pour le système eau + pales, il n'y a pas d'échange d'énergie par travail avec l'extérieur, mais seulement par transfert thermique Q et $\Delta\mathcal{U} = C_{eau} \times \Delta T$.

A. N. : $$\Delta T = \frac{8000}{4{,}18 \times 10^3} = 1{,}9\ °\text{C ou K}$$

b. L'écart relatif e est défini par :

$$e = \frac{\left|T_{\text{mesurée}} - T_{\text{théorique}}\right|}{T_{\text{théorique}}} = \frac{0{,}7}{1{,}9} = 0{,}37 \text{ soit } 37\ \%$$

Les raisons de cet écart sont, d'une part, les pertes mécaniques lors de la transmission de l'énergie du ressort aux pales de l'hélice et, d'autre part, les pales de l'hélice doivent être considérées comme un système thermodynamique échangeant du transfert thermique avec l'eau. Elles ont une capacité thermique propre et leur énergie interne va varier, utilisant ainsi une partie du travail des forces de frottements fluides. Elles limitent ainsi l'échauffement de l'eau.

---

7. a. En utilisant les données et notations du DOC 2. : $Q = 0$, le transfert thermique vers l'extérieur est nul puisque l'enceinte est calorifugée. De même, le transfert par travail $\mathcal{W}$ (hors forces conservatives) vers l'extérieur est également nul. En utilisant la relation donnée, la variation d'énergie totale est nulle et :

$$\Delta\mathcal{U} + \Delta\mathcal{E}_m = \mathcal{W} + Q = 0$$

b. La variation d'énergie potentielle du solide est :

$$\Delta\mathcal{E}_p = -mgh$$

c. On considère le système {solide de masse m + eau}. Ce système est fermé. On s'intéresse à la situation où le solide de masse m descend en actionnant les pales immergées dans l'eau.

État initial : solide de masse m immobile à la hauteur h, eau à la température initiale T_i.

État final : solide de masse m en bas immobile à la hauteur $h = 0$ m, eau à la température finale T_f.

On utilise alors la relation établie en **a.** : $\Delta\mathcal{U} + \Delta\mathcal{E}_m = 0$.

Or, pour l'eau :

$$\Delta\mathcal{U} = C_{eau} \times \Delta T \quad \text{et} \quad \Delta\mathcal{E}_m = -mgh \ (\text{car } +\Delta\mathcal{E}_c = 0\ \text{J})$$

soit : $$C_{eau} \times \Delta T + (-mgh) = 0$$

ce qui entraine : $$h = \frac{C_{eau} \times \Delta T}{mg}$$

d. On peut déduire la capacité thermique de l'eau de la question précédente :

$$C_{eau} = \frac{mgh}{\Delta T}$$

A. N. : $$C_{eau} = \frac{20{,}0 \times 9{,}81 \times 10}{0{,}09} = 21\ 800 = 2{,}2 \times 10^4\ \text{J·K}^{-1}$$

La capacité thermique massique de l'eau vaut alors :

$$c = \frac{C_{eau}}{M} = 4{,}4 \times 10^3\ \text{J·K}^{-1}\text{·kg}^{-1}$$
