Exercices du chapitre 15 - correction

25 a. $n = \frac{PV}{RT} = \frac{2,3 \times 10^5 \times 50 \times 10^{-3}}{8,31 \times (273,15 + 65)} = 4,1$ mol

b. $P_2 = \frac{nRT_2}{V_2} = \frac{4,1 \times 8,31 \times (273,15 + 15)}{50 \times 10^{-3}} = 2,0$ bar

26 La pression doit être exprimée en pascals, la température en kelvins et le volume obtenu est exprimé en mètres cubes. De plus, le résultat doit être donné avec 3 chiffres significatifs. On obtient :

$V = \frac{2,50 \times 8,31 \times (273,15 + 25,0)}{1,01 \times 10^5} = 0,0613$ m^3

28 $Q = C\Delta T = 900 \times 420 = 378$ kJ

30 $\Delta U = W + Q$ donne $mc_{eau}\Delta T = W + Q$

donc $Q = 0,10 \times 4,18 \times 10^3 \times (-5) - 250 = -2,34$ kJ.

32 a. $\Phi_{th} = \frac{\theta_{2i} - \theta_{1i}}{R_{th}} = 1,6$ kW

b. Le transfert thermique s'opère de la face chaude vers la face froide : le système chaud se refroidit, le système froid se réchauffe.

34 a. $P_{th,ray} = \sigma T^4 S = \sigma(273,15 + \theta)^4 S = 2,3 \times 10^5$ W

b. $P_{th,cc} = 1,7 \times 10^5$ W

35 $\tau = \frac{mc}{hS} = \frac{0,100 \times 790}{100 \times 20 \times 10^{-4}} = 395$ s

37 a. Coefficient = 0,5 b. Coefficient = 2

39 a. En estimant la masse du corps à $m = 75$ kg, on a $\tau = \frac{mc_{eau}}{hS} \approx 1\,500$ s.

b. Le lac étant gelé en surface, la température de l'eau vaut 0 °C. La température évolue selon la loi $\theta(t) = 0 + 37e^{-t/\tau}$ donc, à la date $t = 10$ s, elle vaut environ 36,8 °C. On est donc loin de l'hypothermie.

41 a. En régime permanent, en notant Q l'énergie thermique traversant les parois par conduction thermique, le bilan thermique pour les aliments s'écrit $0 = Q - Q_{cong}$ donc $Q = 1,43$ MJ.

b. On a $\Phi_{th} = \frac{Q}{\Delta t_0} = 397$ W. La loi des résistances thermiques s'écrit $R_{th} = \frac{(\theta_2 - \theta_1)}{\Phi_{th}} = 0,13$ K·W^{-1}.

43 La masse totale est égale à la somme des deux masses : $m_{totale} = m_1 + m_2 = 280$ g

Le bilan thermique pour chaque système s'écrit :

$m_1c_{eau}(\theta_{finale} - \theta_1) = Q_1$ et $m_2c_{eau}(\theta_{finale} - \theta_2) = Q_2$

Le système n'échange pas d'énergie thermique avec l'extérieur donc $Q_1 + Q_2 = 0$

donc $\theta_{finale} = \frac{m_1\theta_1 + m_2\theta_2}{m_1 + m_2} = 42$ °C.

44 a. $S = 6 \times a^2 = 5,4 \times 10^{-3}$ m^2

b. $V = a^3 = 2,7 \times 10^{-5}$ m^3

c. $m = \rho V = 71,3 \times 10^{-3}$ kg et $C = mc_{gr} = 56$ J·K^{-1}

d. $\Delta U = W + Q$ soit $C(\theta(t + \Delta t) - \theta(t)) = Q$

e. On divise par Δt : $\frac{C(\theta(t + \Delta t) - \theta(t))}{\Delta t} = \frac{Q}{\Delta t}$

et on fait tendre Δt vers 0 :

$C\frac{d\theta}{dt}(t) = P_{th,cc} = hS(\theta_\infty - \theta(t))$

soit : $\frac{d\theta}{dt}(t) + \frac{hS}{C}\theta(t) = \frac{hS}{C}\theta_\infty$

Par identification : $\tau = \frac{C}{hS} = 1,0 \times 10^3$ s

f. À l'instant initial, $\theta_0 = \theta_\infty + A$ donc $A = \theta_0 - \theta_\infty = 40$ °C.

g. On pose $\theta_g = 0$ °C et on résout l'équation

$\theta_g = \theta_\infty + Ae^{-t/\tau}$ soit $e^{-t/\tau} = \frac{\theta_g - \theta_\infty}{A}$

donc $-\frac{t}{\tau} = \ln\left(\frac{\theta_g - \theta_\infty}{A}\right)$ et $t = -\tau \ln\left(\frac{\theta_g - \theta_\infty}{A}\right) = 470$ s.

45 Lorsque le volume tend vers l'infini, le volume propre des entités devient négligeable devant celui de l'enceinte, donc l'hypothèse H1 est vérifiée.

La distance entre les entités tend vers l'infini, donc les forces d'interaction, dont la norme décroît avec la distance entre les entités, deviennent nulles et l'hypothèse H2 est vérifiée.

Le gaz tend donc vers un gaz parfait.

46 a. Le mur contre lequel les volets sont installés est bien isolé et sa température de surface est presque égale à la température de l'air. De plus, il n'y a presque pas de contact entre les volets et la façade de la maison, le transfert conductif est donc impossible.

La température des volets est donc presque égale à celle de l'air, soit 5 °C environ.

b. La température de surface des fenêtres vaut environ 10 °C. L'écart de 5 °C avec la température de l'air permet donc un transfert conducto-convectif important (loi de Newton), il y a donc une perte thermique importante, et la facture de chauffage du propriétaire sera élevée.

Il a donc intérêt à remplacer ses fenêtres par des fenêtres de résistance thermique plus importante.

47 D'après le cours, l'écart de température entre le canon et le milieu ambiant est égal à un pourcent de l'écart initial après une durée égale à 5τ.

Dans ce cas, l'écart initial est de l'ordre de :

1 427 – 25 = 1400 °C

Un écart de 14 °C permet de marcher sur la fonte refroidie. On peut donc estimer que :

$5\tau = (30 + 31 + 22) = 83$ jours $\approx 7,2 \times 10^6$ s

donc $\tau \approx 1,4 \times 10^6$ s.

Or $\tau = \frac{C}{hS}$ donc $C = hS\tau$.

On doit donc évaluer la surface du canon. Sur la gravure, on voit (les hommes permettent de déterminer l'échelle) que la hauteur du canon vaut environ $H = 50$ m et $R = 5$ m donc, avec la formule fournie $S = 1\,700$ m^2. On en déduit $C \approx 1 \times 10^{10}$ J·K^{-1}.

La capacité thermique massique de la fonte vaut $c = 500$ J·K^{-1}·kg^{-1}.

La masse du canon vaut donc $m = \frac{C}{c} = 2 \times 10^4$ tonnes.

La masse volumique de la fonte vaut $\rho = 7$ tonnes par mètre cube, le volume de fonte vaut donc environ $V = 3\,000$ m^3.
Le volume d'un cylindre vaut $\pi R^2 H = 4\,000$ m^3.
Il y a donc une bonne cohérence entre le résultat expérimental et le résultat théorique.

48 Le glaçon fond quand il reçoit de l'énergie thermique de la part de l'air ambiant. Le glaçon protégé par la fourrure ne reçoit pas d'énergie thermique, il fondra donc beaucoup moins vite que celui laissé à l'air libre.
L'expression « pull bien chaud » est donc très maladroite.

49 a. $Q = hS(\theta_p - \theta_{th}) \times \Delta t = 3{,}4 \times 10^8$ J
b. En divisant par $4{,}18 \times 10^6$, on obtient :
$Q = 82$ kilocalories
c. La dépense totale vaut 600 + 82 = 682 kilocalories, ce qui correspond à 8 bananes environ, réparties ainsi : une banane pour le maintien de la température corporelle (thermique), 7 pour la nage.
d. On a $Q' = Q\dfrac{33 - 18}{33 - 28} = 3Q = 10{,}2 \times 10^8$ J et il faudra donc environ 2 bananes de plus.

50 a. $C_{total} = C + C' + mc_{eau} = 4{,}30$ kJ·K^{-1}
b. La puissance électrique vaut :

$P_{élec} = U_0 \times I = U_0 \times \dfrac{U_0}{R} = \dfrac{{U_0}^2}{R}$ donc $Q = \dfrac{{U_0}^2}{R} \times \Delta t$.

c. Le bilan thermique pour le système complet s'écrit :

$C_{total}(\theta_1 - \theta_0) = Q$ donc $\Delta t = \dfrac{RC_{total}(\theta_1 - \theta_0)}{{U_0}^2}$

soit $\Delta t = 191$ s.

51 1. Il n'y a pas d'atmosphère, le bilan thermique est donc un peu plus simple que celui fait dans le cours. La surface reçoit la puissance solaire $p_S \times S_{Lune}$. Elle en réfléchit la fraction A_L donc en absorbe la fraction $(1 - A_L)$, soit $P_{solaire\ absorbée} = (1 - A_L)p_S S_{Lune}$.
À l'équilibre thermique, cette puissance est égale à la puissance rayonnée soit : $(1 - A_L)p_S S_{Lune} = \sigma T_L^4 S_{Lune}$
donc $(1 - A_L)p_S = \sigma T_L^4$.
2. a. On lit la température moyenne sur le graphique :
$\theta_L = -20$ °C soit $T_L = 253$ K.

On en déduit : $A_L = 1 - \dfrac{\sigma T_L^4}{}$ soit $A_L = 0{,}32$.

Cette valeur est surestimée. En fait, la température de surface est très difficile à mesurer car il y a une très forte variation avec la profondeur ; la valeur donnée par le graphique correspond à la température à 2 mètres de profondeur.
b. On mesure la durée du signal : $2{,}5 \times 10^6$ s, soit 29 jours environ. C'est bien la période de révolution de la Lune, on observe donc une phase de jour et une phase de nuit. Les variations de température sont nettement plus importantes que sur Terre. La phase de jour est 29 fois plus longue que sur Terre, le sol s'échauffe beaucoup plus, puis la phase de nuit est aussi 29 fois plus longue et le refroidissement est beaucoup plus marqué.

52 a. La quantité de matière vaut :

$n = \dfrac{P_0 V_0}{RT} = 0{,}042$ mol

Cela représente $n \times N_A = 2{,}5 \times 10^{22}$ molécules, parmi lesquelles un cinquième sont des molécules de dioxygène, soit $5{,}1 \times 10^{21}$ molécules.
Chaque molécule comporte deux atomes d'oxygène donc $N = 1{,}0 \times 10^{22}$ atomes.

Dans l'atmosphère, $n_T = \dfrac{m}{M} = 1{,}8 \times 10^{20}$ mol

soit $N_T = 2 \times 0{,}20 \times n_T \times N_A = 4{,}3 \times 10^{43}$ atomes d'oxygène.
b. La fraction d'atomes « historiques » de l'inspiration d'Archimède est $\alpha = \dfrac{N}{N_T} = 2{,}3 \times 10^{-22}$.

Il y a donc en moyenne $\alpha N = 2{,}3$ atomes historiques dans chaque inspiration d'un élève.

53 1. a. $P_0 = \dfrac{nRT_0}{V_0} = 1{,}8 \times 10^{10}$ Pa

b. $T_1 = \dfrac{P_1 V_1}{nR} = 523$ K donc $\theta_1 = 250$ °C.

c. $\Delta U = C(T_1 - T_0) = -1{,}2 \times 10^4$ J
2. a. Le premier principe de la thermodynamique s'écrit $\Delta U = 0 + W$ donc $W = -1{,}2 \times 10^4$ J.
b. Ce travail, négatif pour le gaz, est fourni à la charge. En appliquant le théorème de l'énergie cinétique à la balle :

$-W = \dfrac{1}{2}mv^2 - 0$ donc $v = \sqrt{\dfrac{-2W}{m}} = 1{,}3$ km·s^{-1}

54 1. a. La deuxième loi de Newton appliquée au piston soumis aux deux forces pressantes prouve que le piston se déplace vers la gauche.
b. Le piston s'immobilise dans une position d'équilibre mécanique quand la somme des forces pressantes qui s'exercent sur lui est nulle, donc quand $P_1 = P_e$.
c. Notons L_1 la longueur du cylindre occupé par le gaz dans l'état final.
La force pressante est constante et colinéaire au déplacement du piston donc son travail vaut :
$W = P_e S(L_0 - L_1) = P_e(SL_0 - SL_1) = P_e(V_0 - V_1)$
d. Le travail reçu est positif et l'énergie thermique transférée est nulle, donc par application du premier principe de la thermodynamique $\Delta U > 0$ donc l'énergie interne du gaz augmente.
Remarquons que cela se traduit par l'augmentation de la température du gaz : on illustre ainsi le principe d'équivalence.
2. $Q = 0$, d'après l'énoncé. La pression du vide est nulle, donc sa force pressante est nulle, ainsi que le travail reçu par le gaz : $W = 0$.
Le premier principe de la thermodynamique s'écrit $\Delta U = 0 + 0 = 0$ donc l'énergie interne ne varie pas.
3. a. La température du gaz augmente, alors que son volume reste constant, donc sa pression augmente.
b. La deuxième loi de Newton appliquée au piston soumis aux deux forces pressantes prouve que le piston se déplace vers la droite.

55 a. $I = \dfrac{E}{R_{\text{élec}}}$

b. $P_{\text{Joule}} = E \times I = E \times \dfrac{E}{R_{\text{élec}}} = \dfrac{E^2}{R_{\text{élec}}}$

c. C'est une conséquence du bilan thermique sur le barreau.

d. La surface de contact entre le barreau et le fluide est formée des deux faces en forme de disque et de la surface latérale, son aire vaut donc :

$S = 2 \times \pi b^2 + 2\pi bL$

Or L est très grand devant b donc $S \approx 2\pi bL$.

On en déduit : $P_{\text{th,cc}} = h \times 2\pi bL(T_{\text{éq}} - T_\infty)$

À l'équilibre thermique : $P_{\text{Joule}} = P_{\text{th,cc}}$

soit : $\dfrac{\gamma\pi b^2E^2}{L} = h \times 2\pi bL(T_{\text{éq}} - T_\infty)$

soit encore : $T_{\text{éq}} - T_\infty = \underline{\gamma bE^2}$ donc $\beta = \dfrac{\gamma bE^2}{2h}$.

e. On a $T'_{\text{éq}} - T_\infty = \dfrac{\beta}{L'^2}$. En divisant les égalités membre à membre, on obtient $\dfrac{T_{\text{éq}} - T_\infty}{T'_{\text{éq}} - T_\infty} = \dfrac{L'^2}{L^2} = \dfrac{4}{9}$

donc $T'_{\text{éq}} - T_\infty = \dfrac{9}{4} \times (T_{\text{éq}} - T_\infty) = 9$ K

donc $T'_{\text{éq}} = 299$ K.

f. Le barreau cède de l'énergie thermique à l'eau.

56 1. a. $x(t) = v_0t$

b. Le volume de la particule vaut $\ell \times \pi a^2$, sa masse $\rho\ell \times \pi a^2$ et sa capacité thermique $C = \rho\ell c\pi a^2$.

c. Pendant la durée Δt, le bilan thermique pour la particule s'écrit :

$C \times (\theta(t + \Delta t) - \theta(t)) = \ell h \times 2\pi a(\theta_{\text{th}} - \theta(t)) \times \Delta t$

soit, en divisant par Δt :

$C \times \dfrac{\theta(t+\Delta t) - \theta(t)}{\Delta t} = \ell h \times 2\pi a(\theta_{\text{th}} - \theta(t))$

En faisant tendre Δt vers 0, on reconnaît à gauche la dérivée de la fonction $\theta(t)$ et, en remplaçant C par son expression : $\rho\ell c\pi a^2 \times \dfrac{d\theta}{dt}(t) = \ell h \times 2\pi a(\theta_{\text{th}} - \theta(t))$

soit $\dfrac{d\theta}{dt}(t) + \dfrac{2h}{\rho ca}\theta(t) = \dfrac{2h}{\rho ca}\theta_{\text{th}}$.

Le temps caractéristique vaut donc $\tau = \dfrac{\rho ca}{2h} = 29{,}4$ s.

d. En utilisant le résultat de la question **1a**, $L_1 = v_0 \times 5\tau$

donc $v_0 = \dfrac{L_1}{5\tau} = 1{,}4$ m·s^{-1}.

2. a. • La quantité $v_0\pi a^2$ est le volume de liquide qui passe à travers une section de la canalisation par seconde, c'est le débit volumique de liquide dans la canalisation.

• La quantité $\rho v_0\pi a^2$ est la masse de liquide qui passe à travers une section de la canalisation par seconde, c'est le débit massique.

• La quantité $\rho v_0\pi a^2c$ est la capacité thermique du liquide correspondant.

b. Le bilan thermique pour l'eau du chauffe-eau s'écrit : $m_ec_{\text{eau}}(\theta_f - \theta_i) = \delta\rho v_0\pi a^2c \times \Delta t$

donc $\Delta t = \dfrac{m_ec_{\text{eau}}(\theta_f - \theta_i)}{\delta\rho v_0\pi a^2c} = 1\,080$ s

soit environ 18 min.

58 1. Par analogie avec la loi du transfert conductif :

$$R_{\text{cc}} = \frac{1}{hS}$$

2.1. Les fibres forment un réseau labyrinthique qui bloque les mouvements de l'air. De plus, la conduction thermique par conduction le long de ces fibres est très difficile car leur section est très petite, et le chemin très long. On peut donc assimiler cette couche à une couche d'air immobile.

2.2. On exprime le quotient $\dfrac{R_{\text{cd}}}{R_{\text{cc}}} = \dfrac{\frac{e}{\lambda S}}{\frac{1}{hS}} = \dfrac{eh}{\lambda}$ et ce rapport est supérieur à 100 si $e > \dfrac{100\lambda}{h} = 0{,}25$ cm.

2.3. Quand les êtres humains étaient beaucoup plus poilus, l'horripilation provoquait le développement d'une couche de fourrure d'épaisseur importante, formant ainsi une couche thermiquement isolante.

3.1. Il faut éviter l'écrasement de la cavité à cause de la pression extérieure sur les vitres, qui pourrait les faire se toucher ou se briser.

De plus, on choisit un gaz inerte pour éviter la formation de condensation de la vapeur d'eau.

3.2. L'énergie thermique traverse une couche simple de verre dans le cas de la fenêtre simple vitrage. Dans le cas de la fenêtre double-vitrage, elle traverse une couche de verre, puis une couche d'air immobile à cause de la très faible épaisseur de la cavité, empêchant les mouvements de convection du gaz, puis une seconde couche de verre.

3.3. $\dfrac{R_2}{R_1} = \dfrac{0{,}12875}{1{,}875 \times 10^{-3}} = 69$

3.4. La puissance thermique perdue doit être compensée par le système de chauffage. On a donc :

$Q_1 = \dfrac{\theta_i - \theta_e}{R_1} \times \Delta t = 1{,}1 \times 10^9$ J

$Q_2 = \dfrac{\theta_i - \theta_e}{R_2} \times \Delta t = 1{,}6 \times 10^7$ J

ce qui est parfaitement en accord avec les valeurs mesurées.

59 1.1. $P_{\text{th}} = RI^2 = 12{,}3$ W

1.2. $Q = P_{\text{th}} \times \Delta t = 22{,}1$ kJ

1.3. Le bilan thermique pour le système s'écrit :

$(C_0 + mc)(\theta_1 - \theta_0) = Q$

donc $c = \dfrac{\frac{Q}{(\theta_1 - \theta_0)} - C_0}{m} = 4{,}66$ kJ·K^{-1}·kg^{-1}.

2.1. La valeur de c est surestimée, l'énergie thermique reçue par le système est donc inférieure à l'énergie fournie par effet Joule, une partie a été cédée à l'extérieur par fuite thermique à travers les parois de l'enceinte.

2.2. En appliquant la loi de la résistance thermique, on a $-P_{\text{fuite}} = \dfrac{\theta_i - \theta_a}{R_{\text{th}}}$. En appliquant le premier principe de la thermodynamique au système vase-eau, on peut écrire : $(C_0 + mc) \times \Delta T = -P_{\text{fuite}} \times \Delta t'$

donc $R_{\text{th}} = \dfrac{(\theta_i - \theta_a)\Delta t'}{(C_0 + mc)\Delta T} = 135$ K·W^{-1}.

3.1. Pendant la première moitié de l'expérience, le système est plus froid que l'air extérieur, et pendant la seconde moitié, il est plus chaud. De plus, les écarts de température sont presque symétriques (14 degrés de moins au début, 16 de plus à la fin), on peut donc estimer que les pertes et les gains d'énergie thermique échangée avec l'air extérieur se compensent exactement.

3.2. En reprenant l'expression littérale obtenue à la question 1, on a : $c = \dfrac{\dfrac{Q}{(\theta'_1 - \theta'_0)} - C_0}{m} = 4{,}11\ \text{kJ}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$

ce qui est en très bon accord avec la valeur tabulée.

60 1. La puissance incidente sur les héliostats vaut : $P_i = 63 \times 45 \times 720 = 2{,}04$ MW
La puissance réfléchie vers le concentrateur vaut : $P_r = 0{,}70 \times P_i = 1{,}43$ MW
La puissance qu'il réfléchit à son tour vers le foyer vaut : $P = 0{,}70 \times P_r = 1{,}00$ MW

2.1. $m = \rho \times \pi\left(\dfrac{D}{2}\right)^2 e = 9{,}0$ kg

2.2. Le bilan thermique pour l'échauffement de la plaque jusqu'à sa température de fusion s'écrit :
$Q = mc(\theta_f - \theta_i) = 6{,}1$ MJ

2.3. $Q' = m \times \ell_f = 2{,}25$ MJ

2.4. L'énergie thermique totale de percement du trou vaut $Q + Q' = 2{,}26$ GJ donc $\Delta t = \dfrac{Q + Q'}{P} = 8{,}4$ s.

Cette valeur est environ 10 fois plus faible que la valeur expérimentale.
Voici quelques explications possibles :

- le disque a réfléchi une partie du rayonnement ;
- une partie de l'acier liquide a atteint la température de vaporisation, puis s'est vaporisé, ce qui est très coûteux en énergie thermique ;
- des pertes par transfert conducto-convectif avec l'air ambiant ont dissipé une partie de l'énergie thermique.