Exercice 1

1. La masse volumique est donnée par : $\rho = \frac{m}{V} = \frac{n \cdot M}{V}$. D'après la loi des gaz parfaits : $\frac{n}{V} = \frac{P}{R \cdot T}$

On a donc : $\rho = \frac{P \cdot M}{R \cdot T}$.

Au niveau de la mer : $\rho_0 = \frac{\rho_0 \cdot M}{R \cdot (\theta + 273)} = \frac{1013.10^2 \times 29,0}{8,314 \times (15+273)} = 1227 \text{ g.m}^{-3}$

A 3810 m d'altitude : $\rho_h = \frac{\rho_h \cdot M}{R \cdot (\theta + 273)} = \frac{628.10^2 \times 29,0}{8,314 \times (15+273)} = 761 \text{ g.m}^{-3}$

2. La composition de l'air étant constante, le rapport des quantités de dioxygène aux deux altitudes est le même que le rapport des masses aux deux altitudes, donc :

$$\frac{\rho_0 - \rho_h}{\rho_0} = \frac{1227 - 761}{1227} = 0,38 = 38\%$$

Exercice 2

1. Le volume total accessible aux gaz est $V = V_A + V_B = 10 + 5,0 = 15$ L

2. D'après la loi de Boyle-Mariotte $P \cdot V$ = cst, donc :

$P_1 = \frac{P_A \cdot V_A}{V} = \frac{3,0 \times 10}{15} = 2$ bar $\qquad P_2 = \frac{P_B \cdot V_B}{V} = \frac{5,0 \times 5,0}{15} = 1,7$ bar

3. D'après la loi des gaz parfaits, $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$. A la température $\theta = 20°C$, soit $T_{20} = 293$ K, la quantité de matière du mélange de gaz correspond à la somme des quantités de matière de dioxygène et de dihydrogène :

$$n = n_1 + n_2 = \frac{P_1 \cdot V}{R \cdot T_{20}} + \frac{P_2 \cdot V}{R \cdot T_{20}} = \frac{V \cdot (P_1 + P_2)}{R \cdot T_{20}}$$

La quantité de matière ne varie pas dans l'enceinte, donc à la température $\theta = 0°C$, soit $T_0 = 273$ K, on a :

$$P = \frac{n \cdot R \cdot T_0}{V} = \frac{V \cdot (P_1 + P_2)}{R \cdot T_{20}} \cdot \frac{R \cdot T_0}{V} = \frac{(P_1 + P_2) \cdot T_0}{T_{20}} = \frac{(2,0 + 1,7) \times 273}{293} = 3,4 \text{ bar}$$

Exercice 3

1. Le transfert thermique se produisant entre le soleil et la gourde est du rayonnement.

2. $Q = m_{eau} \cdot c_{eau} \cdot (\theta_f - \theta_i) = V_{eau} \cdot \rho_{eau} \cdot c_{eau} \cdot (\theta_f - \theta_i) = 1,5 \times 1,0 \times 4180 \times (26-22) = 2,5.10^4$ J

3. La puissance reçue par l'eau dans la gourde est : $P = 0,65 \times P_{reçue} = 0,65 \times 20 = 13$ W

Comme $P = \frac{Q}{\Delta t}$, on a donc : $\Delta t = \frac{Q}{P} = \frac{2,5.10^4}{13} = 1923 \text{ s} = 32 \text{ min}$

Exercice 4

a. La lampe chauffe les récipients par rayonnement, et les récipients chauffent les liquides par conduction.

b. Le transfert thermique est :

$Q_{eau} = m_{eau} \cdot c_{eau} \cdot \Delta T = \rho_{eau} \cdot V_{eau} \cdot c_{eau} \cdot \Delta T = 1,0 \times 0,330 \times 4180 \times (24-20) = 5,5.10^3$ J

c. On a $c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} = \frac{Q}{\rho \cdot V \cdot \Delta T}$ donc :

$c_{huile} = \frac{Q}{\rho_{huile} \cdot V \cdot \Delta T} = \frac{5,5;10^3}{0,92 \times 0,330 \times (29-20)} = 2,0.10^3 \text{ J.kg.K}^{-1}$

$c_{éthanol} = \frac{Q}{\rho_{éthanol} \cdot V \cdot \Delta T} = \frac{5,5;10^3}{0,79 \times 0,330 \times (29-20)} = 2,3.10^3 \text{ J.kg.K}^{-1}$

Exercice 5

1. La pression est définie comme la force normale par unité de surface : $P = \frac{F}{S}$

2. Le travail reçu par le piston est : $W = -F \cdot d$

Le travail est négatif far il est fournis par le système.

3. Le volume de la seringue est donné par $V = S \cdot x$ où x est la position du piston, donc $\Delta V = S \cdot \Delta x = S \cdot d$.

La force est donc donnée par : $F = P \cdot S = \frac{P \cdot \Delta V}{d}$

L'expression du travail est donc : $W = -\frac{P \cdot \Delta V}{d} \cdot d = -P \cdot \Delta V$

4. D'après le premier principe de la thermodynamique, $\Delta E_{tot} = W + Q_{tot}$. Si le transfert thermique reçu par le piston est négligé, on a alors $\Delta E_{tot,piston} = W$.

5. On considère ici le système {gaz}. Ce système est isolé, donc $\Delta E_{tot,gaz} = W_{gaz} + Q_{gaz} = 0$.

Le gaz reçoit un travail $W_{gaz} = P \cdot \Delta V$. On a donc : $Q_{gaz} = -W_{gaz} \qquad C \cdot \Delta T = -P \cdot \Delta V \qquad \Delta T = -\frac{P \cdot \Delta V}{C}$

Exercice 6

a. Les différents systèmes en contact sont le calorimètre, l'eau froide et l'eau chaude.
b. Avant le mélange, le calorimètre est à température θ_1 = 15°C. Après le mélange (et à la fin des transferts thermiques), il est à température θ_f = 30°C.
c. Pour un système isolé, la variation d'énergie interne est $\Delta U = 0$.
d. Lors du transfert thermique :

- L'eau froide passe de θ_1 = 15°C à θ_f = 30°C : $Q_{froid} = C_{eau}\cdot(\theta_f - \theta_1) = m_{froid}\cdot c_{eau}\cdot(\theta_f - \theta_1)$
- Le calorimètre passe de θ_1 = 15°C à θ_f = 30°C : $Q_{calo} = C_{calo}\cdot(\theta_f - \theta_1)$
- L'eau chaude passe de θ_2 = 45,9°C à θ_f = 30°C : $Q_{chaud} = C_{eau}\cdot(\theta_f - \theta_2) = m_{chaud}\cdot c_{eau}\cdot(\theta_f - \theta_2)$

Le système ne subit aucun travail mécanique, donc $\Delta U = \Delta Q = 0$. On a donc $Q_{froid} + Q_{calo} + Q_{chaud} = 0$
$m_{froid}\cdot c_{eau}\cdot(\theta_f - \theta_1) + C_{calo}\cdot(\theta_f - \theta_1) + m_{chaud}\cdot c_{eau}\cdot(\theta_f - \theta_2) = 0$

$C_{calo} = \frac{-m_{froid}\cdot c_{eau}\cdot(\theta_f - \theta_1) - m_{chaud}\cdot c_{eau}\cdot(\theta_f - \theta_2)}{(\theta_f - \theta_1)}$ et comme $\mu = \frac{C_{calo}}{1{,}0\times c_{eau}}$, on a :

$\mu = \frac{m_{froid}\cdot c_{eau}\cdot(\theta_1 - \theta_f) + m_{chaud}\cdot c_{eau}\cdot(\theta_2 - \theta_f)}{1{,}0\times c_{eau}\cdot(\theta_f - \theta_1)} = \frac{m_{froid}\cdot(\theta_1 - \theta_f) + m_{chaud}\cdot(\theta_2 - \theta_f)}{1{,}0\times(\theta_f - \theta_1)}$

$\mu = \frac{0{,}200\times(15-30) + 0{,}200\times(45{,}9-30)}{30-15} = 1{,}2.10^{-2}$ kg

Exercice 7

a. Les 20 L d'eau chaude sont remplacés par 20 L d'eau froide et le prélèvement étant fait en journée, l'eau n'est pas chauffée.
On fait les suppositions suivantes :

- le ballon ne participe pas au transfert thermique
- le système est isolé et ne subit aucun travail mécanique
- Le ballon est plein (m = 200 kg avec ρ_{eau} = 1,0 kg.L^{-1}) avant le prélèvement.

Lors de l'échange thermique, la masse m-m' d'eau chaude présente dans le ballon va fournir de l'énergie à la masse m' d'eau froide, on a donc :

- L'eau froide passe de θ_1 = 10°C à θ_f : $Q_{froid} = m'\cdot c_{eau}\cdot(\theta_f - \theta_1)$
- L'eau chaude passe de θ_2 = 60°C à θ_f : $Q_{chaud} = (m-m')\cdot c_{eau}\cdot(\theta_f - \theta_2)$

Pour un système isolé, on a $\Delta U = \Delta Q = 0$.
Donc $Q_{froid} + Q_{chaud} = 0$ → $m'\cdot c_{eau}\cdot(\theta_f - \theta_1) + (m-m')\cdot c_{eau}\cdot(\theta_f - \theta_2) = 0$
On développe : $m'\cdot c_{eau}\cdot\theta_f - m'\cdot c_{eau}\cdot\theta_1 + (m-m')\cdot c_{eau}\cdot\theta_f - (m-m')\cdot c_{eau}\cdot\theta_2 = 0$
On isole θ_f : $m'\cdot c_{eau}\cdot\theta_f + (m-m')\cdot c_{eau}\cdot\theta_f = (m-m')\cdot c_{eau}\cdot\theta_2 + m'\cdot c_{eau}\cdot\theta_1$
$m c_{eau}\cdot\theta_f = (m-m')\cdot c_{eau}\cdot\theta_2 + m'\cdot c_{eau}\cdot\theta_1$
$\theta_f = \frac{(m-m')\cdot\theta_2 + m'\theta_1}{m} = \frac{(200-20)\times60 + 20\times10}{200} = 55°C$

b. A partir des mêmes hypothèses, on a (en isolant m') :
$m'\cdot c_{eau}\cdot(\theta_f - \theta_1) - m'\cdot c_{eau}\cdot(\theta_f - \theta_2) = -m\cdot c_{eau}\cdot(\theta_f - \theta_2)$ → $m'\cdot(\theta_2 - \theta_1) = -m\cdot(\theta_f - \theta_2)$
→ $m' = \frac{m\cdot(\theta_2 - \theta_f)}{\theta_2 - \theta_1}$

Pour θ_f = 37°C, on a alors : $m' = \frac{200\times(60-37)}{60-10} = 92$ kg
On peut donc, au maximum, prélever 92 L d'eau

c. L'énergie nécessaire pour chauffer 200 L d'eau de 20°C à 50°C, en supposant que l'eau du chauffe ballon est un système isolé, est donnée par :
$Q = m\cdot c_{eau}\cdot(\theta_f - \theta_i) = 200\times4180\times(50-20) = 2{,}508.10^7$ J
Avec une puissance fournit de 2400 W, et en supposant que toute l'énergie électrique est convertie en énergie thermique, le temps nécessaire pour chauffer l'eau serait alors :
$\Delta t = \frac{Q}{P} = \frac{2{,}508.10^7}{2400} = 1{,}045.10^4$ s = 2,9 h = 2h54min
L'affirmation du constructeur est donc erronée.

Exercice 8

a. A travers un mur, le transfert thermique se fait par conduction.
b. La résistance thermique est : $R_{th} = \frac{\Delta T}{\Phi} = \frac{(22-8)}{3{,}0.10^3} = 4{,}7.10^{-3}$ K.W^{-1}
c. Le mur est donc composé de béton plein.
d. Le matériau le plus isolant est celui pour lequel le flux thermique est le plus faible pour une différence de température donnée. Comme $\Phi = \frac{\Delta T}{R_{th}}$, le matériau le plus isolant est celui avec la plus grande résistance thermique ; ici, c'est le parpaing.

Exercice 9

1. L'unité de r_s est : $\frac{\text{m}}{\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}} = \frac{\text{m}^2}{\text{W.K}^{-1}} = \text{m}^2.\text{K.W}^{-1}$

On sait que R_{th} a pour unité K.W^{-1} et S est en m^2, on peut donc conclure que $r_s = R_{th} \times S$

2. Comme $r_s = \frac{e}{\lambda} = R_{th} \times S$, on a alors $R_{th} = \frac{e}{\lambda \cdot S}$

3. $r_{s\_béton} = \frac{e}{\lambda_{béton}} = \frac{20.10^{-2}}{1,7} = 1,2.10^{-1}$ m^2.K.W^{-1}

4. $r_{s\_bois} = \frac{e}{\lambda_{bois}} = \frac{20.10^{-2}}{0,20} = 1,0$ m^2.K.W^{-1}

5. a. Le transfert d'énergie s'effectue de la source chaude vers la source froide, donc de l'intérieur vers l'extérieur.

b. Avec $R_{th} = \frac{r_s}{S}$, le flux thermique est donné par $\Phi = \frac{\Delta T}{R_{th}} = \frac{S \cdot \Delta T}{r_s}$

Pour le mur en béton $\Phi_{béton} = \frac{S \cdot \Delta T}{r_{s\_béton}} = \frac{10 \times (18-12)}{0,12} = 5,0.10^2$ W

Pour le mur en bois $\Phi_{bois} = \frac{S \cdot \Delta T}{r_{s\_bois}} = \frac{10 \times (18-12)}{1,7} = 3,5.10^1$ W

Le bois est donc plus isolant que le béton.

Exercice 10

1. La résistance thermique est : $R_{th} = \frac{e}{\lambda \cdot S} = \frac{20.10^{-2}}{0,10 \times 12} = 1,7.10^{-1}$ K.W^{-1}

2. Le flux thermique est : $\Phi = \frac{\Delta T}{R_{th}} = \frac{35}{1,7.10^{-1}} = 210$ W

3. Le flux thermique produit par les deux esquimaux en 1h = 3600 s est :

$\Phi_{esquimaux} = \frac{E}{\Delta t} = \frac{2 \times 400.10^3}{3600} = 222 \text{ W} > \Phi$ La température dans l'igloo ne baissera pas.

Exercice 11

1. Le flux thermique surfacique de Mars est : $\varphi_{émis} = \sigma \cdot T^4 = 5,67.10^{-8} \times (-63+273)^4 = 110$ W.m^{-2}

2. Dépourvue d'atmosphère, tout le flux thermique diffusé par Mars correspond au flux solaire qui n'a pas été absorbé puis rayonné : $\varphi_d = \varphi_S - \varphi_{émis}$

L'albédo de Mars est donc : $A = \frac{\varphi_d}{\varphi_S} = \frac{\varphi_S - \varphi_{émis}}{\varphi_S} = 1 - \frac{\varphi_{émis}}{\varphi_S} = 1 - \frac{110}{147} = 0,25$

Exercice 12

1. La température de l'atmosphère est : $T = \sqrt[4]{\frac{\varphi}{\sigma}} = \sqrt[4]{\frac{150}{5,67.10^{-8}}} = 227$ K $\theta = T - 273 = -46$°C

2. D'après la définition donnée, on a : $h = \frac{\Delta\theta}{6,5} = \frac{61}{6,5} = 9,4$ km

Exercice 13

1. Pour une équation différentielle du type $\frac{\text{d X(t)}}{\text{dt}} = \text{a} \cdot \text{X(t)} + \text{b}$, la solution est de la forme $\text{X(t)} = \text{K e}^{\text{at}} - \frac{\text{b}}{\text{a}}$

On a l'équation différentielle : $\frac{\text{d}\theta}{\text{dt}} = -\frac{1}{\tau}\theta + \frac{\theta_f}{\tau}$

Avec $\text{a} = -\frac{1}{\tau}$ et $\text{b} = \frac{\theta_f}{\tau}$, la solution est de la forme : $\theta(t) = \text{K e}^{-\frac{t}{\tau}} + \theta_f$

Pour déterminer la constante K, on utilise la condition initiale $\theta(0) = \theta_i$:

$\theta(0) = \text{K} + \theta_f = \theta_i$ $\text{K} = \theta_i - \theta_f$

La solution est donc: $\theta(t) = (\theta_i - \theta_f) \cdot \text{e}^{-\frac{t}{\tau}} + \theta_f$

2. $\theta(t_{20}) = (\theta_i - \theta_f) \cdot \text{e}^{-\frac{t_{20}}{\tau}} + \theta_f = 20$ donc : $\text{e}^{-\frac{t_{20}}{\tau}} = \frac{20 - \theta_f}{\theta_i - \theta_f}$ $\ln\left(\text{e}^{-\frac{t_{20}}{\tau}}\right) = \ln\left(\frac{20 - \theta_f}{\theta_i - \theta_f}\right)$ $-\frac{t_{20}}{\tau} = \ln\left(\frac{20 - \theta_f}{\theta_i - \theta_f}\right)$

$$t_{20} = -\tau \cdot \ln\left(\frac{20 - \theta_f}{\theta_i - \theta_f}\right) = -910 \times \ln\left(\frac{20 - 30}{5 - 30}\right) = 834 \text{ s}$$

Exercice 14

1. On a : $\Delta U = Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta_{eau}$

2. Le flux thermique est: $\Phi = \frac{\theta_{air} - \theta_{eau}}{R_{th}} = \frac{\text{d}U}{\text{dt}} = m \cdot c \cdot \frac{\text{d}\theta_{eau}}{\text{dt}}$ donc $m \cdot c \cdot \frac{\text{d}\theta_{eau}}{\text{dt}} = \frac{\theta_{air} - \theta_{eau}}{R_{th}}$

L'équation différentielle est : $\frac{\text{d}\theta_{eau}}{\text{dt}} = -\frac{\theta_{eau}}{m \cdot c \cdot R_{th}} + \frac{\theta_{air}}{m \cdot c \cdot R_{th}}$

3. Pour une équation différentielle du type $\frac{\text{d X(t)}}{\text{dt}} = \text{a} \cdot \text{X(t)} + \text{b}$, la solution est de la forme $\text{X(t)} = \text{K e}^{\text{at}} - \frac{\text{b}}{\text{a}}$

On a l'équation différentielle : $\frac{\text{d}\theta_{eau}}{\text{dt}} = -\frac{1}{\tau}\theta_{eau} + \frac{\theta_{air}}{\tau}$ où $\tau = m \cdot c \cdot R_{th} = 1,3 \times 4180 \times 0,083 = 451$ s

Avec $\text{a} = -\frac{1}{\tau}$ et $\text{b} = \frac{\theta_{air}}{\tau}$, la solution est de la forme : $\theta_{eau}(t) = \text{K e}^{-\frac{t}{\tau}} + \theta_{air}$

Pour déterminer la constante K, on utilise la condition initiale $\theta_{eau}(0) = 20$:

$\theta_{eau}(0) = K + \theta_{air} = 20$ $K = 20 - \theta_{air}$

La solution est donc: $\theta_{eau}(t) = (20 - \theta_{air})\cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + \theta_{air}$

On cherche $\theta(t_{100}) = (20 - \theta_{air})\cdot e^{-\frac{t_{100}}{\tau}} + \theta_{air} = 100$ donc :

$e^{-\frac{t_{100}}{\tau}} = \frac{100 - \theta_{air}}{20 - \theta_{air}}$ $\ln\left(e^{-\frac{t_{100}}{\tau}}\right) = \ln\left(\frac{100 - \theta_{air}}{20 - \theta_{air}}\right)$ $-\frac{t_{100}}{\tau} = \ln\left(\frac{100 - \theta_{air}}{20 - \theta_{air}}\right)$

$$t_{100} = -\tau\cdot\ln\left(\frac{100 - \theta_{air}}{20 - \theta_{air}}\right) = -451\times\ln\left(\frac{100 - 180}{20 - 180}\right) = 313 \text{ s}$$