Correction des exercices sur les transferts thermiques du chapitre 16

Ex 35 p 376 : Valeur en eau d'un calorimètre

a. $\Delta U_{froide} = m_1 \, c_{eau} \, \Delta\theta_1 = m_1 \, c_{eau} \, (\theta_f - \theta_1)$.
$\Delta U_{chaude} = m_2 \, c_{eau} \, \Delta\theta_2 = m_2 \, c_{eau} \, (\theta_f - \theta_2)$.
$\Delta U_{chaude+froide} = \Delta U_{froide} + \Delta U_{chaude} = (m_1 + m_2).c_{eau}.\, \theta_f - m_1 \, c_{eau} \, \theta_1 - m_2 \, c_{eau} \, \theta_2$
b. Le système {eau froide ; eau chaude} étant supposé isolé, $\Delta U_{chaude+froide} = 0$
D'où $\theta_f = \dfrac{m_1.c_{eau}.\theta_1 + m_2.c_{eau}.\theta_2}{(m_1 + m_2).c_{eau}} = \dfrac{m_1.\theta_1 + m_2.\theta_2}{(m_1 + m_2)} = 33°C$
c. La mesure donne une température finale plus faible que celle calculée en supposant le système parfaitement isolé. Cette hypothèse était donc fausse.
d. Le calorimètre est supposé à la température θ_1. Soit le système S : {eau froide ; eau chaude ; calorimètre} supposé isolé. La variation d'énergie interne de S est :
$\Delta U_s = m_1 \, c_{eau} \, (\theta_f - \theta_1) + m_2 \, c_{eau} \, (\theta_f - \theta_2) + C_{calorimètre} \, (\theta_f - \theta_1)$
où $C_{calorimètre} = \mu c_{eau}$ par définition.
Comme le système est supposé isolé : $\Delta U_s = 0$
Et donc : $C_{calorimètre} = \dfrac{m_1.c_{eau}.(\theta_1 - \theta_f) + m_2.c_{eau}.(\theta_2 - \theta_f)}{(\theta_f - \theta_1)} = 94 \text{ J. K}^{-1}$
et $\mu = \dfrac{C_{calorimètre}}{c_{eau}} = \dfrac{m_1.(\theta_1 - \theta_f) + m_2.(\theta_2 - \theta_f)}{(\theta_f - \theta_1)} = 22 \text{ g}$

Ex 36p 377 : Confort thermique d'un igloo

a. L'expression entre guillemets signifie que le transfert thermique entre un Inuit et l'extérieur est de 0,5 MJ en une heure. Ainsi, le flux thermique entre l'Inuit et l'extérieur est de $0{,}5 \text{ MJ} . \text{h}^{-1}$.
Soit $\Phi_{Inuit} = 1{,}4 \times 10^2$ W.
b. Pour que l'igloo ne refroidisse pas au cours de la nuit, il faut que le flux thermique généré par les trois Inuits compense les pertes avec l'extérieur soit $\Phi_{pertes} = 3 \times \Phi_{Inuit}$. Or, les pertes se font par conduction à travers l'igloo, d'où $\Phi_{pertes} = \dfrac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_{th}}$.
Ainsi $R_{th} = \dfrac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{3 \times \Phi_{Inuit}} = 1{,}4.10^{-1} \text{K.W}^{-1}$
c. Après manipulation, on trouve $e = R_0 \times \left(\dfrac{1}{1 - 2\pi.R_{th}.R_0.\lambda_{th}} - 1 \right) = 3.10^{-1}$ m.
L'ordre de grandeur d'une trentaine de centimètres semble cohérent par rapport à la photo.

Ex 41 p 379 : Combinaison de plongée

a. Application du premier principe au système {plongeur sans combinaison} : $dU = P_{th} \, dt - \Phi_{cc} \, dt$.
b. Le système étant condensé et donc incompressible, la variation de son énergie interne ne dépend que de sa variation de température, $dU = mcd\theta$.
Donc : $m.c.d\theta = P_{th}.dt - h.S.(\theta(t) - \theta_{eau}).dt$.
D'où l'équation différentielle : $\dfrac{d\theta}{dt} + \dfrac{h.S}{m.c}\theta = \dfrac{h.S}{m.c}\theta_{eau} + \dfrac{P_{th}}{m.c}$.
On retrouve bien l'expression donnée avec $\tau = \dfrac{m.c}{h.S}$

c. On reconnaît une équation différentielle du premier ordre de temps caractéristique $\tau = \dfrac{m.c}{h.S}$ qui admet pour solution :

$$\theta(t) = \left(\theta_0 - \theta_{eau} - \tau\frac{P_{th}}{m.c}\right)e^{-\frac{t}{\tau}} + \theta_{eau} + \tau\frac{P_{th}}{m.c}$$

d. On cherche l'instant pour lequel θ(t) = 36°C. En isolant t on obtient : $t = -\tau.\ln\left(\dfrac{\theta(t) - \theta_{eau} - \dfrac{P_{th}}{h.S}}{\theta_0 - \theta_{eau} - \dfrac{P_{th}}{h.S}}\right)$

AN :

- sans combinaison t = 92 s
- avec combinaison t = $4{,}7.10^3$ s, soit environ 78 minutes.

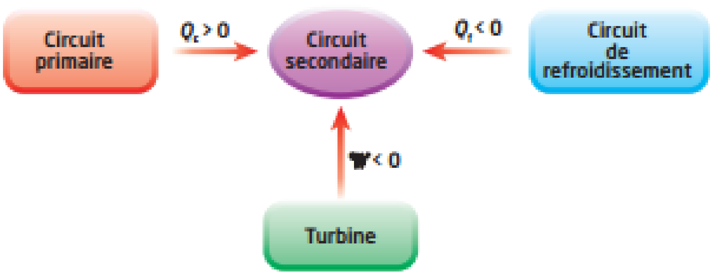
Exercice 43 p 381 : Etude énergétique d'une centrale nucléaire

1. a. L'énergie fournie chaque seconde par le réacteur primaire est $\dfrac{P_e}{\eta}$ = 2,7 GJ

Cette énergie est transférée à l'eau du circuit primaire par rayonnement.

b. D'après les données, il est préférable de travailler avec de l'eau liquide car sa capacité thermique massique est supérieure à celle de la vapeur d'eau. De plus, travailler à haute pression permet de s'assurer que l'eau reste à l'état liquide malgré la hausse de température tout en augmentant sa capacité thermique massique.

2. a.



b. Au cours d'un cycle, la variation d'énergie interne du système {eau du circuit secondaire} est nulle.

c. L'application du premier principe au système {eau du circuit secondaire} donne $\Delta U = W + Q_F + Q_C = 0$. Or, d'après la réponse 1.a., Q_C = 2,7 GJ. Le travail cédé par le circuit secondaire à la turbine en une seconde est W = –900 MJ. D'où Q_F = –1,8 GJ. Le flux thermique entre le circuit secondaire et le circuit de refroidissement est bien égal à 1,8 GW.

3. L'énergie fournie aux 60m³ d'eau chaque seconde est de 1,8 GJ. Alors, $\Delta U_{eau} = mc_{eau}(\theta s - \theta e)$.

D'où : $\theta_s = \theta_e + \dfrac{\Delta U_{eau}}{\rho.V.c_{eau}}$ = 26 °C.

Exercice 44 p 382 : Bien choisir son matelas de camping

1. Question préliminaire :

Le flux thermique entre le campeur et l'extérieur doit être inférieur à 100 W pour qu'il n'ait pas froid. Le DOC. 2 précise que les 2/3 des échanges se font avec le sol. Le flux thermique maximal entre le campeur et le sol doit donc être d'environ 70 W. Le choix est fait de travailler en ordre de grandeur. La valeur de 100 W fournie dans le DOC. 3 étant elle-même un ordre de grandeur qui dépend de nombreux paramètres biologiques.

2. Problème

Étape 1 : calcul de la résistance thermique de l'ensemble du matériel du campeur

- Résistance thermique des vêtements : $R_{th,vêt} = 0,05\ m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$.
- Résistance thermique du sac de couchage : ce dernier est compressé sous le campeur ce qui réduit de 85 % sa résistance thermique $R_{th,sac} = 0,60 \times (1 - 0,85) = 0,09\ m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$.
- Résistance thermique du matelas: $R_{th,matelas} = 2\ 6 = 0,3\ m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$.
- Résistance thermique de l'ensemble : $R_{th,tot} = R_{th,vêt} + R_{th,sac} + R_{th,matelas} = 0,4\ m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$.
- La surface de contact entre le campeur et le sol étant de 1 m^2, la résistance thermique de la paroi à laquelle le flux thermique passe vaut $R_{th} = 0,4\ K \cdot W^{-1}$.

Étape 2 : calcul du flux thermique.

La température du corps du campeur est supposée normale $T_C = 37$ °C. Le sol est supposé être à la température $T_S = -5$ °C, température atteinte la nuit au mois de mai en Laponie.

$$\Phi = \frac{T_C - \theta_S}{R_{th}} = 105\ W.$$

D'après les résultats obtenus, le flux thermique entre le campeur et le sol est trop grand et le campeur risque donc d'avoir froid. Cependant, l'étude reste très simplifiée. Par exemple, l'influence de la couche d'air emprisonnée dans le sac de couchage n'est pas prise en compte mais peut avoir un intérêt isolant.