Exercices en autonomie: QCM p.441/ER p442 à 445/EC n°24*-27*-29*-31*-33*-36*-38*-40*-42*

Exercices p.446 et suiv : n°25-28-30-32-35-37-39-41-43-44-49-50-type BAC n°57

25 Dans le pneu d'une voiture qui a longuement roulé, la température de l'air atteint $\theta_1 = 65$ °C.
Le volume de l'air qu'il contient vaut $V = 50$ L.
L'automobiliste mesure la pression $P_1 = 2{,}3$ bar.
a. Calculer la quantité de matière n d'air, assimilé à un gaz parfait, contenu dans le pneu.
b. Quelle sera la pression P_2 à froid, lorsque la température de l'air vaudra $\theta_2 = 15$ °C ?

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

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

28 Une brique indéformable et immobile, de capacité thermique $C = 900$ J·K^{-1} a une température qui diminue de 420 °C après sa cuisson.
- Quelle énergie thermique cède-t-elle à l'extérieur ?

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

30 Un système formé de $m = 100$ g d'eau reçoit, par mouvement de brassage, un travail $W = 250$ J. Pourtant, sa température baisse de 5 °C.
- Calculer l'énergie thermique Q qu'il cède à l'extérieur.

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 Deux corps solides identiques, de même capacité thermique C, de températures initiales $\theta_{1i} = 30$ °C et $\theta_{2i} = 70$ °C, ne peuvent échanger de l'énergie thermique qu'à travers la cloison qui les sépare, de résistance thermique $R_{th} = 0{,}025$ K·W^{-1}.
a. Calculer la valeur du flux thermique Φ_{th} traversant la cloison à l'instant initial.
b. Comment les températures des deux corps évoluent-elles au cours du temps ?

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

35 Une météorite de masse $m = 100$ g, de capacité thermique massique $c = 790$ J·K^{-1}·kg^{-1}, d'aire $S = 20$ cm^2, de température initiale $T_0 = 750$ K, tombe dans la mer formant un thermostat à la température $T_{th} = 293$ K. Le coefficient de transfert conducto-convectif vaut $h = 100$ W·m^{-2}·K^{-1}. La température $T(t)$ de la météorite vérifie l'équation différentielle : $\dfrac{dT}{dt} + \dfrac{hS}{mc}T = \dfrac{hS}{mc}T_{th}$
- Calculer le temps caractéristique τ de refroidissement de la météorite.

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

37 Compression isotherme d'un gaz parfait

Utiliser un modèle

Un système formé de n mol de gaz parfait est maintenu à température constante T. Sa pression est multipliée par deux.

a. Par quel coefficient son volume est-il multiplié ?

b. Par quel coefficient sa masse volumique est-elle multipliée ?

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

39 Frigorifié en 10 secondes ?

Faire preuve d'esprit critique • Estimer un ordre de grandeur

Le corps humain a une capacité thermique massique proche de celle de l'eau. L'aire de sa surface vaut environ 2 m^2. On assimile la température de son corps à celle de sa peau. Le coefficient conducto-convectif au contact de l'eau immobile vaut environ $h = 100\ \text{W·K}^{-1}\text{·m}^{-2}$. L'hypothermie est souvent mortelle quand la température du corps atteint 25 °C.
Le temps caractéristique de refroidissement d'un corps de capacité thermique C dans l'eau vaut $\tau = \frac{C}{hS}$.

a. Estimer l'ordre de grandeur de τ.

b. Peut-on peut mourir par hypothermie si on passe 10 secondes dans l'eau d'un lac gelé en surface ?

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 Congélateur

Schématiser une situation

Dans l'enceinte d'un congélateur, l'air et les aliments sont à la température $\theta_1 = -25$ °C et la température de l'air extérieur vaut $\theta_2 = 25$ °C. Pour assurer le maintien de cette situation, pendant une heure de fonctionnement, le congélateur opère le transfert d'une énergie thermique $Q_{cong} = 1{,}43$ MJ entre les aliments et l'extérieur.

a. La température des aliments doit rester constante au cours du temps.
Par un bilan thermique sur ce système, en déduire l'énergie thermique Q transférée par conduction thermique à travers les parois de l'enceinte.

b. En déduire le flux thermique conductif Φ_{th} à travers les parois dont les faces sont aux températures θ_1 et θ_2, puis la valeur R_{th} de la résistance thermique des parois de l'enceinte.

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 $R_{th} = \frac{(\theta_2 - \theta_1)}{\Phi_{th}} = 0{,}13\ \text{K·W}^{-1}$.

43 Eau tiède

Effectuer un calcul

En 10 secondes environ, le mitigeur d'un évier mélange une masse $m_1 = 100$ g d'eau froide à la température $\theta_1 = 10$ °C et une masse $m_2 = 180$ g d'eau chaude à la température $\theta_2 = 60$ °C.

■ Calculer la masse totale d'eau et la température de cette eau. On négligera tout transfert thermique et tout travail échangé avec l'extérieur.

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 Démontrer et appliquer le cours

Établir une loi • Exploiter un énoncé

Pour refroidir un verre de limonade, on peut y introduire un glaçon, mais l'eau de fonte du glaçon affadit la boisson. Boire une limonade « *on the rocks* » signifie qu'on y introduit plutôt un caillou (*rock*) glacial. Ce caillou est un cube de granite de côté $a = 3{,}0$ cm. La masse volumique du granite vaut $\rho = 2{,}64 \times 10^3$ kg·m^{-3} et sa capacité thermique massique, $c_{gr} = 790$ J·K^{-1}·kg^{-1}.

Pour le refroidir, on le suspend par un fil dans une chambre froide, au contact de l'air à la température $\theta_{th} = -25$ °C. La température du caillou à la date t est notée $\theta(t)$, sa valeur initiale est $\theta(0) = \theta_0 = 15$ °C. La puissance du transfert thermique conducto-convectif cédé par le caillou à l'air extérieur est donné par la loi de Newton :

$$P_{th,cc} = hS(\theta(t) - \theta_{th})$$

où S est l'aire de la surface du glaçon et $h = 10$ W·K^{-1}·m^{-2}.

a. Calculer l'aire totale des six faces du caillou.

b. Calculer le volume du caillou.

c. En déduire sa masse et sa capacité thermique $C = mc_{gr}$.

d. Effectuer le bilan d'énergie interne entre les dates t et $t + \Delta t$ pour le caillou, solide incompressible.

e. En déduire l'équation différentielle vérifiée par $\theta(t)$ qu'on exprimera sous la forme suivante en précisant la valeur du temps caractéristique τ :

$$\frac{d\theta}{dt} + \frac{1}{\tau}\theta = \frac{1}{\tau}\theta_{th}$$

f. La solution générale de cette équation différentielle est : $\theta(t) = \theta_{th} + Ae^{-t/\tau}$

Déterminer la constante A grâce à la condition initiale.

g. Déterminer la date à laquelle le caillou devient « glacial », c'est-à-dire que sa température exprimée en degrés Celsius devient négative.

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 : $\dfrac{C(\theta(t+\Delta t) - \theta(t))}{\Delta t} = \dfrac{Q}{\Delta t}$

et on fait tendre Δt vers 0 :

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

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

Par identification : $\tau = \dfrac{C}{hS} = 1{,}0 \times 10^3$ 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 $e^{-t/\tau} = \dfrac{\theta_g - \theta_\infty}{A}$

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

49 Pourquoi a-t-on si faim en sortant de la piscine ? SVT

Exploiter un énoncé

Une nageuse parcourt 1 500 m en une heure dans l'eau d'une piscine à la température $\theta_{th} = 28$ °C. La température de sa peau est égale à $\theta_p = 33$ °C.

La puissance thermique transférée de son corps vers l'eau est donnée par la loi de Newton :

$$P_{th,cc} = hS(\theta_p - \theta_{th})$$

où le coefficient conducto-convectif vaut $h = 10$ kW·K^{-1}·m^{-2} et l'aire de la surface de la peau de la nageuse $S = 1{,}9$ m^2.

a. Calculer l'énergie thermique Q cédée par la nageuse à l'eau pendant sa séance de natation.

b. Les dépenses énergétiques du corps humain sont globalement compensées par l'alimentation. L'unité énergétique des diététiciens est la kilocalorie, égale à 4,18 MJ.

Exprimer Q dans cette unité.

c. La dépense énergétique associée aux mouvements de brasse sur une distance de 1 500 m est estimée à 600 kilocalories.

Une banane apporte 89 kilocalories.

Combien de bananes la nageuse peut-elle manger pour reconstituer ses réserves ?

Indiquer la part imputable aux mouvements de brasse et celle imputable aux transferts thermiques.

d. Reprendre le calcul précédent si la nageuse s'entraîne dans un lac dont l'eau est à 18 °C.

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 Principe du thermoplongeur

Effectuer un calcul

Un récipient possède une capacité thermique $C = 100\ \text{J·K}^{-1}$. On y verse une masse $m = 1{,}00$ kg d'eau. Un dipôle ohmique de résistance $R = 1{,}20\ \Omega$ et de capacité thermique $C' = 20\ \text{J·K}^{-1}$ est plongé dans l'eau. On place l'ensemble dans une enceinte qui empêche tout transfert thermique avec l'extérieur, et on mesure sa température initiale $\theta_0 = 14{,}5$ °C.

À l'instant initial, on alimente le dipôle ohmique par un générateur de tension $U_0 = 48{,}0$ V.

a. Calculer la capacité thermique $C + mc_{eau} + C'$ du système formé par le récipient, l'eau et le dipôle.

b. Donner l'expression littérale de l'énergie thermique Q reçue par ce système pendant une durée Δt en admettant qu'elle est égale à l'énergie thermique fournie par effet Joule.

c. Déterminer la valeur de Δt nécessaire à l'entrée en ébullition de l'eau (à 100 °C).

50 a. $C_{total} = C + C' + mc_{eau} = 4{,}30\ \text{kJ·K}^{-1}$

b. La puissance électrique vaut :

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

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

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

soit $\Delta t = 191$ s.

57 Résolution de problème — Survie en milieu marin (SVT)

Les mammifères marins maintiennent la température de leur corps constante en produisant de l'énergie thermique par métabolisme*.

Pour expliquer cette situation, on adopte un modèle très simple :

- L'animal est assimilé à une boule sphérique de rayon R.
- Son métabolisme produit une énergie thermique dont la puissance est proportionnelle à son volume V : $P_{mb} = \beta V$ où $\beta = 700\ \text{kW·m}^{-3}$ est la puissance volumique, qui est indépendante de la taille de l'animal.
- Sa température corporelle $\theta = 37$ °C est égale à celle de sa peau.
- Il est plongé dans l'eau à la température loin de sa peau égale à $\theta_{th} = 10$ °C.

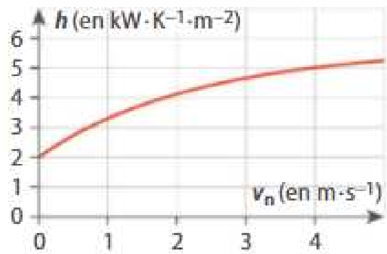
Le plus petit mammifère marin connu, le marsouin du Pacifique, a une masse à l'âge adulte de l'ordre de 40 kg.

Doc. 1 Loi de Newton

Un système solide d'aire totale S à la température θ, plongé dans un fluide à la température loin du solide θ_{th} lui cède une énergie thermique par transfert conducto-convectif, de puissance $P_{th,cc} = hS(\theta - \theta_{th})$.

Doc. 2 Évolution du coefficient de convection avec la vitesse de l'animal

- Le coefficient conducto-convectif h d'un mammifère marin dépend de sa vitesse de nage v_n. L'activité de nage est évidemment consommatrice en énergie. On donne ci-contre l'allure du graphique traduisant cette dépendance.



Doc. 3 Propriétés géométriques de la boule sphérique

Soit une boule de rayon R.

- L'aire de sa surface sphérique vaut $S = 4\pi R^2$.
- Son volume vaut $V = \frac{4}{3}\pi R^3$.

Vocabulaire

Métabolisme : ensemble des réactions biochimiques permettant la survie d'un organisme.

PROBLÈME

Quel est le rayon minimal qui permet à un mammifère marin de survivre dans les conditions décrites dans le modèle ?

57 Résolution de problème Survie en milieu marin SVT

PROBLÈME

La survie de l'animal n'est possible que si la puissance produite par métabolisme est supérieure ou égale à celle perdue par transfert thermique.

La puissance produite par le métabolisme de l'animal vaut : $P_{mb} = \beta \times \frac{4}{3}\pi R^3$

D'après la loi de Newton, la puissance cédée par transfert conducto-convectif vaut :

$$P_{th,cc} = h \times 4\pi R^2(\theta - \theta_{th})$$

Lorsque l'animal cherche à économiser ses forces, il reste immobile. On lit sur le graphique du doc. 2 que pour une vitesse nulle, $h = 2$ kW·K^{-1}·m^{-2}.

Si la totalité de l'énergie produite par le métabolisme est utilisée sous forme thermique, le bilan thermique pour l'animal, de capacité thermique C, s'écrit :

$$C \times \Delta\theta = (P_{mb} - P_{th,cc})\Delta t$$

Si cette quantité est négative, la température corporelle diminue, l'animal entre en hypothermie et meurt.

La condition de survie est donc : $P_{mb} - P_{th,cc} > 0$

Soit $\beta \times \frac{4}{3}\pi R^3 > h \times 4\pi R^2(\theta - \theta_{th})$

et après simplification par $4\pi R^2$: $R > \frac{3h(T - T_{th})}{\beta} = 0{,}23$ m

Pour survivre dans les conditions du modèle, un mammifère marin doit donc avoir un rayon minimal $R = 0{,}23$ m.

On remarque qu'en supposant que la masse volumique de l'animal est pratiquement égale à celle de l'eau, la masse de l'animal ($m = \rho_{eau} \times \frac{4}{3}\pi R^3$) est égale à 51 kg pour $R = 0{,}23$ m. C'est en bon accord avec la masse du marsouin qui, lui, évolue en eau plus chaude que 10 °C.