Thème 3 : Energie : conversions et transferts

Partie 2. Effectuer des bilans d'énergie sur un système

CHAP 17-EXOS Initiation à la thermodynamique ~~Loi de phénoménologique de Newton – Effet de serre~~

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

Données
- 1 bar = 10^5 Pa
- Constante des gaz parfaits : $R = 8{,}31\ \text{J·K}^{-1}\text{·mol}^{-1}$
- Conversion : $T\ (\text{K}) = 273{,}15 + \theta\ (°\text{C})$
- Constante de Stefan-Boltzmann : $\sigma = 5{,}67 \times 10^{-8}\ \text{W·m}^{-2}\text{·K}^{-4}$
- Capacité thermique massique de l'eau : $c_{eau} = 4{,}18\ \text{kJ·K}^{-1}\text{·kg}^{-1}$
- Constante d'Avogadro : $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}\ \text{mol}^{-1}$

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 ?

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

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.

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 $R_{th} = 0{,}025\ \text{K·W}^{-1}$.
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 ?

35 Une météorite de masse $m = 100$ g, de capacité thermique massique $c = 790\ \text{J·K}^{-1}\text{·kg}^{-1}$, d'aire $S = 20\ \text{cm}^2$, 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 $h = 100\ \text{W·m}^{-2}\text{·K}^{-1}$. 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.

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 ?

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 $h = 100$ W·K^{-1}·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 ?

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.

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.

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 $\rho = 2{,}64 \times 10^3\ \text{kg·m}^{-3}$ et sa capacité thermique massique, $c_{gr} = 790\ \text{J·K}^{-1}\text{·kg}^{-1}$.

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 $h = 10\ \text{W·K}^{-1}\text{·m}^{-2}$.

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.

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.

50 Principe du thermoplongeur

Effectuer un calcul

Un récipient possède une capacité thermique $C = 100$ 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 $C' = 20$ 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).

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 $\beta = 700$ 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.

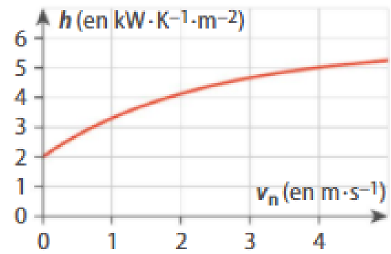
Le plus petit mammifère marin connu, le marsouin du Pacifique, a une masse à l'âge adulte de l'ordre de 40 kg.

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 ?