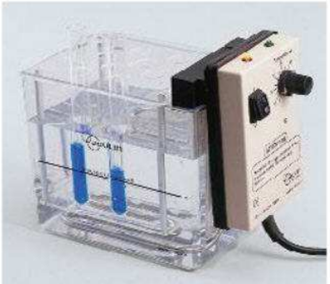
Partie Comprendre : Lois et modèles

CHAP 14-EXOS Transferts macroscopiques d'énergie

Exercices résolus p 361 à 363 N° 1 à 6
Exercices p 364 à 373 N° 12-17-24-29-34-35

12 Calculer la variation d'énergie interne d'un système



Un bain-marie utilisé en chimie contient 1,7 L d'eau initialement à une température $T_1 = 20$ °C.
Au bout de quelques minutes, la résistance chauffante du bain-marie permet d'obtenir ce même volume d'eau à une température $T_2 = 64$ °C.
Calculer la variation de l'énergie interne de ce volume d'eau.

Données : $c_{eau} = 4{,}18 \times 10^3\ J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$; $\rho_{eau} = 1{,}00\ kg \cdot L^{-1}$.

<u>Calcul de la variation d'énergie interne</u>

$\Delta U = C.\Delta T = m.c.\ \Delta T$

<u>Avec m :</u>

$\rho_{eau} = \frac{m}{V}$

$m = \rho_{eau}.V = 1.1{,}7 = \boxed{1{,}7\ kg}$

D'où :

$\Delta U = m.c.\ \Delta T = 1{,}7.4{,}18.10^3.(\ [273+64] - [273+20]) = \boxed{3{,}1.10^5\ J}$

17 Calculer et exploiter un flux thermique

On peut trouver sur le marché des casseroles en aluminium et d'autres en cuivre.
Pour déterminer lequel de ces deux matériaux est celui qui transfère l'énergie thermique le plus rapidement, Marc utilise deux plaques de mêmes dimensions, l'une en cuivre et l'autre en aluminium.
Il maintient un écart de température constant et égal à 5,0 °C entre les deux faces planes et parallèles de la plaque de cuivre. Le transfert thermique, pendant une durée de 15 min, entre les deux faces est $Q_{Cu} = 4{,}4 \times 10^6$ J.
Ensuite, il procède de même avec la plaque d'aluminium dont la résistance thermique est $R_{th\_Al} = 1{,}7 \times 10^{-2}$ K·W^{-1}.

Donnée :

Le flux thermique a pour expression :

$$\varphi = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{|T_1 - T_2|}{R_{th}}$$

1. Quel est le flux thermique qui traverse :
a. la plaque de cuivre ?
b. la plaque d'aluminium ?

2. Pour des dimensions identiques, quel est le matériau qui transfère le plus rapidement l'énergie thermique ?

1. a. Flux thermique de la plaque de cuivre

$\boldsymbol{\varphi = \frac{Q_{Cu}}{\Delta t} = \frac{4{,}4.10^6}{15.60} =}$

b. Flux thermique de la plaque l'alu

$\boldsymbol{\varphi = = \frac{|T_1 - T_2|}{R_{th-Al}} = \frac{5}{1{,}7.10^{-2}} =}$ **2,9.10^2 W**

24 Mesure d'une résistance thermique

COMPÉTENCES Calculer ; estimer une incertitude

Pour déterminer la résistance thermique d'un échantillon, on le place entre deux plaques d'aluminium de résistances thermiques négligeables.
En serrant l'échantillon, on obtient une température homogène sur chaque face de l'échantillon.
En réglant la puissance électrique d'un conducteur ohmique chauffant, on maintient :
– la face supérieure de l'échantillon à la température ambiante T_1 ;
– la face inférieure de l'échantillon à une température T_2, inférieure à la température T_1.
La puissance électrique du conducteur ohmique chauffant est égale au flux thermique.

On souhaite mesurer la résistance thermique d'une surface plane de polystyrène.
On impose sur la face inférieure de la plaque de polystyrène une température $T_2 = 8{,}0$ °C. La face supérieure est maintenue à la température ambiante $T_1 = 20{,}0$ °C. Le flux affiché par l'appareil de mesure est $\varphi = 0{,}100$ W.

1. Calculer la résistance thermique R_{th} de la plaque de polystyrène.

2. Le flux thermique mesuré par l'appareil est celui qui traverse la plaque supérieure d'aluminium, le polystyrène et la plaque inférieure d'aluminium.

a. Pourquoi la résistance thermique des plaques d'aluminium doit-elle être faible ?

b. On évalue la résistance thermique de chaque plaque d'aluminium à $R'_{th} = 3{,}2 \times 10^{-3}$ K·W^{-1}.
Est-elle négligeable comme l'indique la notice ?

3. L'appareil mesure les températures T_1 et T_2 à deux dixièmes de degré près. On estime à 6 % l'incertitude relative sur la mesure du flux thermique.

a. Quelle est l'incertitude de mesure sur le flux thermique φ traversant la plaque ? Donner un encadrement de φ.

b. L'incertitude de mesure $U(\Delta T)$ sur l'écart de température $\Delta T = T_1 - T_2$ a pour expression :

$$U(\Delta T) = \sqrt{U(T_1)^2 + U(T_2)^2}.$$

Évaluer cette incertitude et donner un encadrement de ΔT.

c. Lorsqu'une grandeur A a pour expression $A = \frac{B}{C}$, l'incertitude de mesure $U(A)$ sur A peut être évaluée par :

$$U(A) = A \cdot \sqrt{\left(\frac{U(B)}{B}\right)^2 + \left(\frac{U(C)}{C}\right)^2}$$

$U(B)$ et $U(C)$ étant respectivement les incertitudes sur B et C.
Donner l'expression de l'incertitude $U(R_{th})$ sur la valeur de la résistance thermique de la plaque.
Donner un encadrement de R_{th} et écrire sa valeur associée à son incertitude.

Donnée :
Le flux thermique s'écrit $\varphi = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{|T_1 - T_2|}{R_{th}}$.

<u>1. Calcul de R_{th} :</u>

$\varphi = \frac{|T_1 - T_2|}{R_{th}}$

$R_{th} = \frac{|T_1 - T_2|}{\varphi} = \frac{|20-8|}{0{,}1} = 120$ K.W^{-1}

2.a. La résistance thermique de l'appareil est la résistance de la plaque de polystyrène plus celle des deux plaques d'aluminium :

$R_{th\_tot} = R_{th} + 2R_{th-Al}$

La résistance thermique des plaques d'aluminium doit être faible devant celle du polystyrène pour que la valeur mesurée soit identifiable à la résistance thermique du polystyrène.

<u>b. Calcul de $2R'_{th-Al}$</u>

$2R'_{th-Al} = 2.3{,}2.10^{-3} = 6{,}4.10^{-3}$ K.W^{-1} << $R_{th} = 120$ K.W^{-1}

On a vérifié que $2R'_{th-Al} << R_{th}$; la résistance thermique de l'aluminium est négligeable devant celle du polystyrène.

<u>3.a. Calcul de l'incertitude U(ϕ)</u>

$U(\phi) = \frac{6}{100}.\phi = 0{,}06.0{,}1 = 0{,}006$ W

Encadrement :

0,1 – 0,006 < ϕ < 0,1 + 0,006
0,094 W < ϕ < 0,106 W

b. Calcul de l'incertitude U(ΔT)

U(ΔT) = $\sqrt{(0,2)^2 + (0,2)^2}$ = 0,3 °C

Encadrement :

11,7 °C < ΔT < 12,3 °C

c. Incertitude de U(R_{th})

on a R_{th} = $\frac{|T_1 - T_2|}{\varphi}$ = $\frac{\Delta T}{\varphi}$

D'où :

U(R_{th}) = $R_{th} . \sqrt{\left(\frac{U(\Delta T)}{\Delta T}\right)^2 + \left(\frac{U(\varphi)}{\varphi}\right)^2}$ = $120 . \sqrt{\left(\frac{0,3}{20-8}\right)^2 + \left(\frac{0,006}{0,1}\right)^2}$ = 8 K.W^{-1}

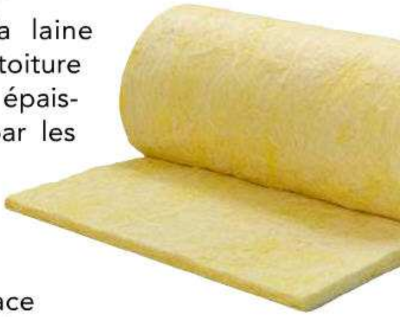
Encadrement :

112 K.W^{-1} < R_{th} < 128 K.W^{-1}

Ou :
R_{th} = 120 $\pm$ 8 K.W^{-1}

29 Bac Un isolant, la laine de verre

COMPÉTENCES Calculer ; extraire des informations ; exploiter une relation.



On peut utiliser de la laine de verre pour isoler la toiture d'une maison. Plusieurs épaisseurs sont proposées par les fabricants.

Paul et Olivia décident de déterminer la résistance thermique R_{th1} d'une surface $S_1 = 1{,}0\ m^2$ d'une laine de verre 1 d'épaisseur $e_1 = 60$ mm et la résistance thermique R_{th2} d'une surface $S_2 = 1{,}5\ m^2$ d'une laine de verre 2 d'épaisseur $e_2 = 240$ mm.

Paul mesure un flux thermique de 10 W lorsque la différence de température entre les deux faces de la laine de verre 1 est de 15 °C.

Olivia soumet l'une des faces de la laine de verre 2 à une température $T_A = 10$ °C et l'autre face à une température $T_B = 30$ °C. Elle mesure une énergie transférée de 36 kJ à travers la laine de verre 2 pendant une durée de 2,0 h.

1. Calculer la résistance thermique R_{th1} de la laine de verre 1.

2. Calculer la résistance thermique R_{th2} de la laine de verre 2.

Lorsqu'on parle d'isolation thermique, on indique souvent la valeur de la conductivité thermique λ d'un matériau. Cette grandeur est liée à la résistance thermique d'une paroi plane de surface S et d'épaisseur e par :

$$\lambda = \frac{e}{S \cdot R_{th}}$$

avec e en m, S en m^2 et R_{th} en °C·W^{-1}.

3. a. Quelle est l'unité de la conductivité thermique ?

b. Calculer les conductivités thermiques respectives λ_1 et λ_2 des laines de verre 1 et 2.

4. Pourquoi la conductivité thermique caractérise-t-elle un matériau ?

5. Exprimer le flux thermique traversant une paroi en fonction de λ, S, e et de l'écart de température entre les faces.

6. Comment le flux thermique évolue-t-il lorsque l'on double la surface S de laine de verre ?

7. Comment le flux thermique évolue-t-il lorsque l'on double l'épaisseur e de laine de verre ?

8. Quels conseils peut-on donner à un particulier faisant construire sa maison afin de limiter les pertes d'énergie par la toiture ?

Donnée : Flux thermique $\varphi = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{|T_1 - T_2|}{R_{th}}$.

<u>1 Calcul de R_{th1} :</u>

$$\varphi = \frac{|T_1 - T_2|}{R_{th1}}$$

$$R_{th1} = \frac{|T_1 - T_2|}{\varphi} = \frac{15}{10} = 1{,}5\ K.W^{-1}$$

<u>2 Calcul de R_{th2} :</u>

On a :

$$\varphi = \frac{|T_B - T_A|}{R_{th2}}$$

et $\varphi = \frac{Q}{\Delta t}$

<u>D'où :</u>

$$\frac{Q}{\Delta t} = \frac{|T_B - T_A|}{R_{th2}}$$

$$R_{th2} = \frac{|T_B - T_A|}{Q} \Delta t = \frac{30-10}{36000} 2.60 = 4\ K.W^{-1}$$

<u>3.a. Unité de λ</u>

$$\lambda = \frac{e}{R_{th}.S}$$

$$[\lambda] = \frac{[e]}{[R_{th}].[S]} = \frac{m}{K.W^{-1}.m^2} = K^{-1}.W.m^{-1} = W\ K^{-1}.m^{-1}$$

b. Calcul de λ_1:

$$\lambda_1 = \frac{e_1}{R_{th1}.S_1} = \frac{60.10^{-3}}{1.1,5} = 4.10^{-2}\ W\ K^{-1}.m^{-1}$$

Calcul de λ_2:

$$\lambda_2 = \frac{e_2}{R_{th2}.S_2} = \frac{240.10^{-3}}{4.1,5} = 4.10^{-2}\ W\ K^{-1}.m^{-1}$$

4. La conductivité thermique est indépendante de l'épaisseur du matériau. Sa valeur caractérise les propriétés d'un matériau à faciliter les transferts thermiques.

5. Expression de ϕ :

$$\varphi = \frac{|T_B - T_A|}{R_{th}} = \frac{|\Delta T|}{R_{th}}$$

or

$$\lambda = \frac{e}{R_{th}.S}$$

D'où

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda.S}$$

D'où :

$$\varphi = \frac{|\Delta T|}{\frac{e}{\lambda.S}} = \frac{|\Delta T|.\lambda.S}{e}$$

6. Variation de ϕ avec S

si S' = 2.S

Alors

$$\varphi' = \frac{|\Delta T|.\lambda.S'}{e} = \frac{|\Delta T|.\lambda.2S}{e} = 2.\varphi$$

7. Variation de ϕ avec e

si e' = 2.e

Alors

$$\varphi' = \frac{|\Delta T|.\lambda.S}{e'} = \frac{|\Delta T|.\lambda.S}{2e} = \frac{\varphi}{2}$$

8. Les pertes d'énergie sont d'autant plus grandes que le flux thermique est élevé. Pour limiter les pertes d'énergie par la toiture, il faut limiter sa surface et augmenter l'épaisseur de laine de verre.

34 Que calor !

COMPÉTENCES **Mobiliser ses connaissances ; raisonner ; faire preuve d'esprit critique.**

La calorimétrie est l'ensemble des techniques de mesure de transferts thermiques. Elle permet de déterminer des énergies de changement d'état et des capacités thermiques. Un calorimètre à vase de Dewar est un récipient métallique muni d'un couvercle et d'un système d'agitation, dans lequel est placé un vase à double paroi dont les parois sont en verre, argentées et séparées par du vide. Ce vase est appelé vase de Dewar. *On peut considérer que le contenu du vase est thermiquement isolé de l'extérieur.*

Dans le but de déterminer la capacité thermique massique c_2 du cuivre solide, on place dans un calorimètre une masse m_1 = 80,1 g d'eau liquide. À l'équilibre thermique, la température à l'intérieur du calorimètre est T_1 = 16,4 °C.
Dans une étuve, on chauffe un bloc de cuivre solide de masse m_2 = 62,3 g, sa température est T_2 = 75,0 °C. Très rapidement, on place ce bloc dans l'eau du calorimètre que l'on referme. Quand le nouvel état d'équilibre thermique est atteint, la température à l'intérieur du calorimètre est T_f = 20,4 °C.

1. Justifier la phrase du texte en italique.
2. Exprimer la variation d'énergie interne du système {cuivre} en fonction des températures.
3. Établir le bilan énergétique pour ce système. Quel est le signe des différentes grandeurs qui y apparaissent ?
4. En déduire l'expression de la capacité thermique massique c_2 du cuivre et la calculer. On notera C_{cal} la capacité thermique du calorimètre et de ses accessoires (agitateur, thermomètre, etc.).
5. La valeur de c_2 lue dans les tables thermodynamiques est 0,390 $J \cdot g^{-1} \cdot °C^{-1}$. Identifier toutes les sources d'erreur lors de sa détermination. Comment améliorer le résultat ?

Données : pour l'eau liquide c_1 = 4,18 $J \cdot g^{-1} \cdot °C^{-1}$;
pour le calorimètre et ses accessoires C_{cal} = 8,5 $J \cdot °C^{-1}$.

1. Les transferts thermiques par conduction et convection sont limités par le vide entre les parois ; le couvercle limite aussi la convection. Le rayonnement est limité grâce aux surfaces argentées réfléchissantes.

<u>2. Variation d'énergie interne du système cuivre</u>

$\Delta U = C.\Delta T = m_2.c_2.(T_f - T_2)$

3. Le système cuivre n'échange aucun travail (W = 0), mais il échange de l'énergie thermique

On a :

$\Delta U = W_{reçu} + Q_{reçue} - W_{cédé} - Q_{cédée}$
$\Delta U = 0 + Q_{reçue} - 0 - Q_{cédée}$
$\Delta U = + Q_{reçue} - Q_{cédée}$
Il ne reçoit pas de chaleur, car sa température baisse
$\Delta U = + 0 - Q_{cédée}$
$\Delta U = - Q_{cédée}$

Il cède de la chaleur à l'eau et au calorimètre

• $Q_{(cédée\ à\ l'eau)}$ avec l'eau initialement froide, négative, car cédée par le cuivre (corps chaud) à l'eau (corps froid) ;

• $Q_{(cédée\ au\ calorimètre)}$ avec le calorimètre, négative, car cédée par le cuivre (corps chaud) au calorimètre (corps froid).

$m_2.c_2.(T_f - T_2) = - Q_{cédée}$
$m_2.c_2.(T_f - T_2) = - [Q_{(cédée\ à\ l'eau)} + Q_{(cédée\ au\ calorimètre)}]$
$m_2.c_2.(T_f - T_2) = - [m_1.c_1.(T_f - T_1) + C.(T_f - T_1)]$

$$c_2 = - [m_1.c_1.(T_f - T_1) + C.(T_f - T_1)].\frac{1}{m_2.(T_f - T_2)}$$

$$c_2 = - [m_1.c_1 + C].\frac{(T_f - T_1)}{m_2.(T_f - T_2)}$$

$$c_2 = - [80,1.4,19 + 8,5].\frac{(20,4 - 16,4)}{62,3.(20,4 - 75)}$$

$c_2 = 0,404\ J.g^{-1}.°C^{-1}$

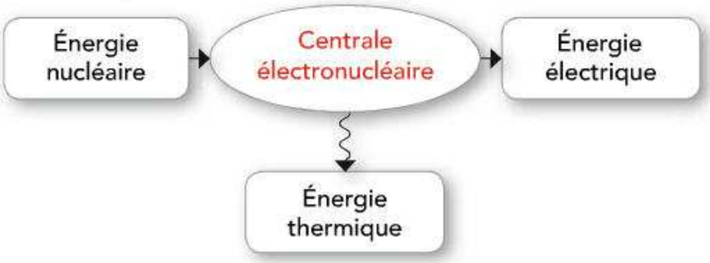
5. Les sources d'erreur systématique sont dues à
- l'opérateur,
- au calorimètre (isolation thermique non parfaite,
- incertitude sur la valeur de Ccal,
- au thermomètre (mesures de T),
- à la balance (mesures de m) et
- à l'incertitude sur c_1.

Pour améliorer le résultat, il faut répéter plusieurs fois la mesure (par exemple, tenir compte des mesures de tous les binômes en TP), utiliser des balances et thermomètres de précision, un calorimètre très bien isolé.

35 Bac Centrale électronucléaire

COMPÉTENCES **Mobiliser ses connaissances ; raisonner ; calculer.**

En France, en 2011, environ 75 % de la production d'électricité est réalisée dans des centrales électronucléaires. L'énorme énergie libérée par la fission de l'uranium 235 ne peut techniquement pas être entièrement convertie en énergie électrique. Pour évacuer l'énergie non convertie, la centrale doit être équipée d'un circuit d'eau de refroidissement. Les centrales électronucléaires sont donc construites à proximité de rivières, fleuves, mers ou océans. Ce circuit de refroidissement est un élément crucial pour la sécurité, car, s'il n'est plus alimenté en eau, la température peut augmenter jusqu'à la fusion du cœur du réacteur. C'est ce qui s'est passé lors de l'accident nucléaire de Fukushima en mars 2011.
Le fonctionnement d'une centrale électronucléaire est modélisé par la chaîne énergétique suivante :



Le cœur du réacteur fournit à la centrale une énergie thermique Q. L'eau du circuit de refroidissement est à la température initiale $T = 16$ °C et la centrale lui fournit une énergie thermique Q'. Le travail électrique fourni par la centrale au réseau électrique est noté W. Le rendement de conversion de la centrale vaut 33 %.

1. Établir le bilan énergétique de la centrale en précisant le signe des grandeurs qui interviennent.
2. Comment se traduit la conservation de l'énergie lors du fonctionnement de cette centrale ?
3. Définir le rendement de conversion ρ de cette centrale électronucléaire.
4. Déduire de ce qui précède l'expression du transfert thermique entre la centrale et l'eau du circuit de refroidissement en fonction de W et ρ.
5. Quelle est la conséquence pour l'eau du circuit de refroidissement de ce transfert thermique ?

6. Ce circuit de refroidissement a un débit massique de $4{,}2 \times 10^4$ kg·s^{-1}.
a. Exprimer la masse d'eau correspondant au fonctionnement de la centrale pendant 10 min.
b. Quelle est l'élévation de la température de cette masse d'eau au cours de cette durée sachant que le travail électrique fourni par la centrale est de $5{,}4 \times 10^{11}$ J ?
7. Quel est l'effet d'une augmentation du débit de l'eau dans le circuit de refroidissement sur la température de cette eau ?

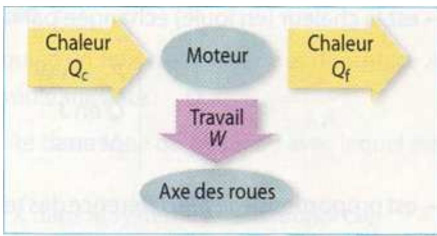
Donnée : pour l'eau liquide $c = 4{,}18$ kJ·kg^{-1}·K^{-1}.

1. Bilan énergétique

Le système {centrale} échange avec l'extérieur :
– un travail électrique W, compté négativement, car fourni à l'extérieur par la centrale ;
– un transfert thermique Q, compté positivement, car fourni à la centrale par l'extérieur (coeur du réacteur) ;
– un transfert thermique Q', compté négativement, car fourni à l'extérieur (circuit de refroidissement) par la centrale.

2. Relation

C'est le principe d'une machine thermique (moteur) cf cours



$\Delta U = Q_c - Q_f - W$

on a $\Delta U = 0$
car en régime permanent ou stationnaire,

ici :

0 = Energie nucléaire - Energie thermique - Energie électrique

0 = Q – W – Q’

3. Rendement :

Le rendement de conversion de la centrale est le rapport de l’énergie exploitable en sortie de chaîne et de l’énergie utilisée en entrée de chaîne :

$\rho = \frac{W}{Q}$

$Q = \frac{W}{\rho}$

4. transfert thermique Q’

0 = Q – W – Q’

Q’ = Q – W

$Q' = \frac{W}{\rho} - W$

$Q' = W(\frac{1}{\rho} - 1)$

5. L’eau du circuit de refroidissement reçoit le transfert thermique, donc son énergie interne et sa température vont augmenter

6.a. Calcul de la masse pour 10 min :

$m = 4{,}2.10^{4}.10.60 = 2{,}52.10^{7}$ kg

b. Calcul de l’augmentation de la température :

Q’ = m.c.ΔT
Q’ = m.c.ΔT

$\Delta T = \frac{Q'}{m.c} =$

J

kJ.kg^{-1}.K^{-1}

kg

K

$\Delta T = \frac{5{,}4.10^{11}}{2{,}52.10^{7}.4{,}18.1000} = 10{,}4$ K

7. Si m augmente, ΔT diminue