

Vérifier l'essentiel **EN AUTONOMIE**

Pour chaque question, choisir la ou les bonnes réponses. ➔ SOLUTIONS EN PAGE 593

**DONNÉES**

▶ Loi de Stefan-Boltzmann $F = \sigma \cdot T^4$

▶ Loi thermique de Newton : $\frac{dT}{dt} = -\gamma \cdot (T - T_{th})$

1 Premier principe de la thermodynamique

	A	B	C
1 L'énergie interne U d'un système :	est l'énergie propre d'un système.	est égale à $E_c + E_{pp}$.	est liée à la température du système.
2 La variation d'énergie interne :	s'écrit ΔU .	s'exprime en watt.	s'exprime en joule.
3 Si un système est au repos :	$E_{totale} = E_c + E_{pp} + U$.	$\Delta E_{totale} = \Delta U$.	$\Delta E_{totale} = 0 \text{ J}$.
4 Pour un système fermé au repos et incompressible :	$\Delta E_{totale} = \Delta U = W$	$\Delta E_{totale} = \Delta U = Q$	$\Delta E_{totale} = \Delta U = W + Q$

2 Transferts et flux thermiques

	A	B	C
5 Un transfert thermique :	s'écrit Q .	est égal à $C \cdot \Delta T$.	est égal à $C \cdot \Delta t$.
6 S'il y a mouvement de matière on parle de :	conduction.	convection.	flux thermique.
7 Le transfert thermique est orienté :	uniquement dans un sens.	de la source froide à la source chaude.	s'il y a un écart de température.
8 Le flux thermique Φ :	est égale à $\Delta t / Q$.	est égale à $Q \cdot \Delta t$.	est égale à $Q / \Delta t$.
9 La résistance thermique :	est égale à $\Delta T / \Phi$.	est égale à $\Phi \cdot \Delta T$.	est égale à $\Phi / \Delta T$.

3 Deux lois thermiques

	A	B	C
10 La loi de Stefan-Boltzmann :	n'est valable que pour un corps noir.	s'écrit $F = \sigma \cdot T^2$.	s'écrit $F = \sigma \cdot T^4$.
11 La température moyenne terrestre est influencée :	par l'albédo de la Terre et son atmosphère.	par l'effet de serre.	par le flux thermique reçu du Soleil.
12 La loi de refroidissement de Newton :	est une équation différentielle.	montre que dT/dt est lié à $(T - T_{th})$.	traduit le fait que T tend vers T_{th} .
13 La température d'un système en contact avec un thermostat :	tend vers la température du thermostat.	a pour expression $T(t) = T_{th} \cdot e^{-\gamma t}$	varie d'autant plus rapidement que sa valeur est écartée de celle du thermostat.

Acquérir les bases

1 Premier principe de la thermodynamique

EN AUTONOMIE

Ce qu'on attend de moi le jour du **BAC**

Énergie interne

- Définir l'énergie interne d'un système et en citer les différentes contributions microscopiques

➔ Acquérir les bases : 14

Premier principe de la thermodynamique

- Effectuer l'étude énergétique d'un système thermodynamique
- Écrire le premier principe de la thermodynamique pour un système au repos
- Distinguer le terme correspondant à la variation de l'énergie du système des termes correspondant à des transferts d'énergie entre le système et l'extérieur

➔ Acquérir les bases : 17 ➔ S'entraîner : 35 36

14 Tempête dans un verre d'eau

L'eau contenue dans un verre posé sur une table est parfaitement stable.

Cette eau peut-elle être le siège d'une variation d'énergie sans que sa position ou sa vitesse soient modifiées ? Argumenter la réponse.

15 Contributions microscopiques

- a. Qu'appelle-t-on l'énergie interne d'un système ?
b. Citer les différentes contributions microscopiques de l'énergie interne d'un système.
- a. Comment expliquer l'existence d'énergies cinétiques microscopiques ?
b. À quelle grandeur macroscopique associe-t-on ces énergies cinétiques microscopiques ?
- a. Comment expliquer l'existence d'énergies potentielles d'interaction microscopiques ?
b. Comment expliquer la faible contribution de ces énergies dans le cas d'un gaz comme l'air ?

16 Qui a le plus d'énergie ?

On considère deux systèmes constitués respectivement de 100 g de vapeur d'eau et de 100 g d'eau liquide, tous les deux à 100 °C.

- Quelle contribution énergétique à l'énergie interne prédomine pour chaque système ?
- Quel système a l'énergie interne la plus grande ?

17 Vrai ou Faux ?

Répondre par vrai ou par faux aux affirmations suivantes. Corriger celles qui sont fausses.

- L'énergie totale d'un système est toujours la somme de son énergie cinétique macroscopique et de son énergie potentielle de pesanteur.
- Pour obtenir une même variation d'énergie interne ΔU , il faut transférer la même énergie, que ce soit par travail W ou transfert thermique Q .
- Au cours d'un freinage, de l'énergie est détruite car l'énergie cinétique diminue.

18 Chocolat fouetté

Dans un récipient, 500 g de chocolat chaud encore liquide refroidissent et sont brassés à l'aide d'un fouet électrique.

- Effectuer l'étude énergétique du système (chocolat) en s'appuyant sur un diagramme énergétique.

- a. Écrire le premier principe de la thermodynamique en justifiant que le système est au repos.

- b. Distinguer le terme correspondant à la variation de l'énergie du système des termes correspondant à des transferts d'énergie entre le système et l'extérieur.

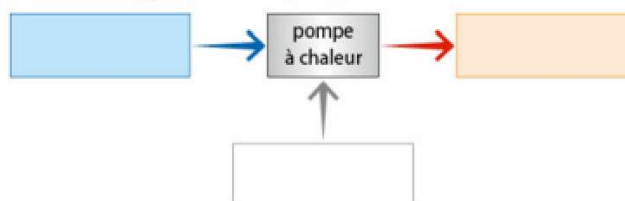
- c. Sachant que l'énergie perdue par le chocolat en se refroidissant est de 50 kJ et que l'énergie reçue par le fouet est de 10 kJ, déterminer la variation d'énergie interne du système.



19 Pompe à chaleur

Une pompe à chaleur (PAC) est destinée à assurer le chauffage d'un local à partir d'une source de chaleur externe (l'air, le sol ou l'eau) dont la température est inférieure à celle du système à chauffer. Pour réaliser ce transfert thermique (non naturel), une dépense d'énergie est nécessaire : elle correspond au travail fourni par un compresseur à un fluide caloporteur (corps capable à la fois de s'écouler et d'échanger de l'énergie).

- Recopier et compléter le schéma ci-dessous représentant le bilan énergétique de la pompe à chaleur.



- Écrire le premier principe de la thermodynamique appliqué à la pompe à chaleur en justifiant que le système est au repos.

2 Transferts et flux thermiques

EN AUTONOMIE

Ce qu'on attend de moi le jour du **BAC**

Capacité thermique d'un système incompressible

- Connaître et exploiter l'expression $\Delta U = Q = C \cdot \Delta T$ pour un système incompressible

➔ Acquérir les bases : 23 ➔ S'entraîner : 36

Modes de transferts thermiques

- Connaître et savoir caractériser les trois modes de transfert thermique : conduction, convection, rayonnement

➔ Acquérir les bases : 22 ➔ S'entraîner : 46

Flux thermique. Résistance thermique

- Prévoir le sens d'un transfert thermique
- Savoir que le flux thermique est lié au transfert thermique ($\Phi = Q/\Delta t$)
- Connaître et exploiter l'expression $\Phi = \Delta T/R$
- Exprimer R si une relation est donnée

➔ Acquérir les bases : 24 ➔ S'entraîner : 29 30 46

20 Pertes thermiques d'une habitation

Pour évaluer les pertes thermiques d'une habitation, on procède à l'expérience suivante : la masse m d'air à l'intérieur de la maison étant initialement à la température $T_1 = 19,0\text{ °C}$, on coupe le système de chauffage pendant une durée $\Delta t = 1,00\text{ h}$. On mesure une température finale $T_2 = 15,6\text{ °C}$.

Données : capacité thermique massique de l'air :

$c_a = 1\,000\text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$; volume intérieur de la maison :

$V = 400\text{ m}^3$; masse volumique de l'air : $\rho = 1,3\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

1. Exprimer, puis calculer, la variation de l'énergie interne ΔU de l'air contenu dans la maison.
2. Interpréter le signe du résultat obtenu à la question précédente.

21 Mug de thé au micro-ondes

On réchauffe l'eau de son thé à l'aide d'un four à micro-ondes. Le volume d'eau dans le mug est de $V = 250\text{ mL}$. Lorsque les micro-ondes atteignent les molécules d'eau, celles-ci se mettent à osciller. La mise en mouvement des molécules d'eau produit la chaleur nécessaire pour réchauffer les aliments. Le four est réglé sur la position de puissance $P = 900\text{ W}$. La température de l'eau passe ainsi de 10 °C à 90 °C . On suppose que le four à micro-ondes est bien isolé.

Données : masse volumique de l'eau : $\rho_{\text{eau}} = 1,00\text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$;

capacité thermique massique de l'eau : $c_{\text{eau}} = 4\,180\text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;

l'énergie transférée à un système avec une puissance P pendant la durée Δt est : $E = P \cdot \Delta t$.

1. Calculer la variation d'énergie interne de l'eau contenue dans le mug.
2. Au bout de combien de temps l'eau du thé sera-t-elle prête ?

22 Douche solaire

Une douche solaire, généralement constituée d'un sac plastique noir, est exposée au soleil pour pouvoir être utilisée.

Identifier et caractériser chacun des types de transferts thermiques principaux mis en jeu pour obtenir de l'eau chaude.



23 Café chaud dans un thermos

Dans une bouteille thermos, on verse $1,0\text{ L}$ de café à la température de 60 °C . La température de l'ensemble se stabilise à 52 °C . La capacité thermique et la masse volumique du café seront prises égales à celle de l'eau.

Données : capacité thermique massique de l'eau :

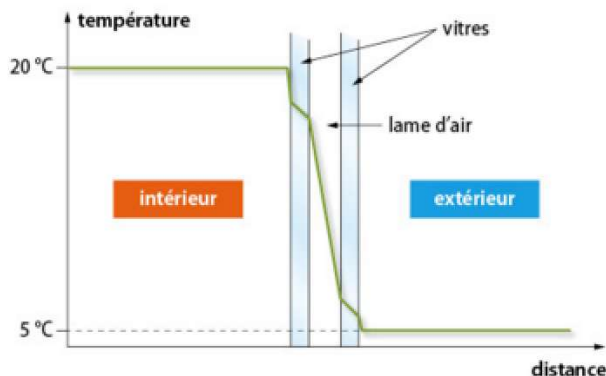
$c_{\text{eau}} = 4,18\text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;

masse volumique de l'eau : $\rho_{\text{eau}} = 1,0\text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$

1. Calculer la valeur de la variation d'énergie interne du café.
2. En supposant que la bouteille thermos est parfaitement isolée, déterminer la variation d'énergie interne du système (thermos + café).
3. En déduire la valeur de la variation d'énergie interne de la bouteille thermos.

24 Double vitrage

On a représenté ci-contre l'évaluation de la température à la traversée d'un double vitrage, pour un flux constant :



1. Dans quel sens se fait le transfert thermique ?
2. Comparer qualitativement les résistances thermiques du verre et de l'air.
3. De l'air ou du verre, quel est le meilleur isolant thermique ?

25 Bon choix d'isolant thermique

Afin de réduire les dépenses de chauffage et d'avoir un comportement écoresponsable, on cherche à améliorer l'isolation thermique d'une habitation. En effet, celle-ci possède un grenier non chauffé, on décide donc d'en isoler le sol.

Il existe de nombreux matériaux isolants caractérisés par leur conductivité thermique notée λ . Plus la conductivité thermique d'un matériau est élevée, plus il conduit facilement la chaleur.

Données :

- température du grenier : $\theta_1 = 5,0\text{ °C}$;

- température de la maison : $\theta_2 = 20\text{ °C}$;

- surface du sol du grenier : $S = 80\text{ m}^2$;

- résistance thermique du sol du grenier non isolé :

$R = 7,5 \times 10^{-3}\text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$;

- expression de la résistance thermique : $R = \frac{e}{\lambda \cdot S}$

avec e épaisseur (en m) et S surface (en m^2) de la paroi.

Nom du matériau	Laine de roche	Polystyrène extrudé	Liège naturel expansé	Cellulose
Conductivité thermique λ en $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	0,035	0,033	0,042	0,039

1. a. Dans quel sens s'effectue le transfert thermique dans l'habitation ?
b. Donner l'expression puis calculer le flux thermique Φ à travers le sol du grenier non isolé.
2. a. Quel serait un bon choix de matériau pour un isolant thermique ?
b. On veut diviser le flux thermique par 10. Sachant que lorsque plusieurs parois sont accolées, la résistance thermique totale est égale à la somme des résistances thermiques de chaque paroi, calculer la résistance thermique de l'isolant
c. Tous les matériaux proposés s'achètent sous forme de panneaux rigides dans le commerce. Quelle épaisseur minimale doit posséder le panneau du matériau choisi ?

3 Deux lois thermiques

EN AUTONOMIE

Ce qu'on attend de moi le jour du **BAC**

Bilan thermique du système Terre-atmosphère

- Effectuer un bilan quantitatif d'énergie pour estimer la température terrestre moyenne, la loi de Stefan-Boltzmann étant donnée
- Discuter qualitativement de l'influence de l'albédo et de l'effet de serre sur la température terrestre moyenne

→ Acquérir les bases : 26 → S'entraîner : 38

Loi thermique de Newton

- Effectuer un bilan d'énergie pour un système échangeant de l'énergie par un transfert thermique modélisé à l'aide de la loi de Newton fournie
- Établir l'expression de la température du système en fonction du temps et résoudre l'équation différentielle

→ Acquérir les bases : 28 → S'entraîner : 31, 32

26 Température moyenne terrestre

- Le flux thermique reçu du Soleil et réparti sur la totalité de la surface de la Terre vaut $342 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.
La Terre et son atmosphère présentent un albédo $A = 0,30$.
a. Quel est l'effet de l'albédo sur le flux thermique reçu du Soleil à la surface de la Terre ?
b. On considère la Terre comme un « corps noir », objet idéal qui émet sous forme d'un rayonnement toute l'énergie qu'il reçoit. On suppose que son flux thermique par unité de surface est proportionnel à sa température élevée à la puissance 4. Quel est l'effet de l'albédo sur la température moyenne terrestre ?
- a. Les gaz de l'atmosphère absorbent environ 20 % du rayonnement émis par le sol. Comment appelle-t-on ce phénomène ?
b. Quel est son effet sur la température moyenne terrestre ?

27 Loi de Stefan-Boltzmann

La loi de Stefan-Boltzmann définit la relation qui existe entre le flux thermique par unité de surface F (en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) d'un objet et la température T (en K) de l'objet considéré comme un « corps noir », objet idéal qui émet sous forme d'un rayonnement toute l'énergie qu'il reçoit : $F = \sigma \cdot T^4$ avec $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ SI}$.

Donnée : $T(K) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273$

Le flux thermique reçu du Soleil et réparti sur la totalité de la surface de la Terre vaut $342 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

- Établir le bilan d'énergie qui peut permettre d'estimer la température terrestre moyenne.
- a. Retrouver l'unité de la constante de Boltzmann.
b. À l'aide de la loi de Stefan-Boltzmann et du bilan d'énergie établi, estimer la température terrestre moyenne.
- La température terrestre moyenne est de 15°C . Comment expliquer l'écart avec la valeur déterminée à l'aide de la loi de Stefan-Boltzmann ?

28 Refroidissement d'une tasse de café

On considère une tasse de café initialement à la température de 75°C dans une pièce à 25°C .

Après 5 minutes le café est à 50°C .

On suppose que la vitesse de refroidissement du café est proportionnelle à la différence des températures (autrement dit que la température du café suit la loi de Newton) : cela signifie qu'il existe une constante $\gamma < 0$ telle que la température vérifie l'équation différentielle de premier ordre : $dT(t)/dt = \gamma(T(t) - T_{\text{amb}})$

- Effectuer un bilan énergie pour le système (café).
- Donner la valeur de T_{amb} .
- Résoudre l'équation différentielle en donnant l'expression de $T(t)$ en fonction de γ .
- a. Déterminer la valeur numérique de la constante de refroidissement γ .
b. En déduire l'expression générale de $T(t)$.

Faire le point avant d'aller plus loin

Pour vérifier ses connaissances, répondre aux questions suivantes (sans regarder le cours !)

PRÉPA
BAC

Citer les énergies microscopiques qui contribuent à l'énergie interne d'un système

Écrire le premier principe de la thermodynamique en explicitant chaque grandeur et son unité.

Citer les modes de transferts thermiques et définir chacun d'entre eux.

Effectuer un bilan d'énergie pour une bouilloire électrique.

Écrire la relation qui relie le flux thermique et le transfert thermique en explicitant chaque grandeur et son unité.

Expliciter les étapes qui permettent d'estimer la température moyenne terrestre à partir de la loi de Stefan-Boltzmann :

$$\begin{array}{ccc} \text{flux thermique} & & \text{température} \\ \text{par unité de surface} & \rightarrow & \text{du « corps noir » (K)} \\ (W \cdot m^{-2}) & \rightarrow & F = \sigma \cdot T^4 \\ & \uparrow & \\ & \sigma = 5,67 \times 10^{-8} W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4} & \end{array}$$

Écrire la relation qui lie le flux thermique et la variation de température d'un système en explicitant chaque grandeur et son unité.

En utilisant la loi de Newton pour de l'eau fraîche qui se réchauffe à température ambiante on a trouvé l'expression : $T(t) = A \cdot e^{-\gamma t} + B$
Quelles données expérimentales permettent de déterminer A et B ?

Retrouver ces questions en version numérique

Exercice résolu **EN AUTONOMIE****29** Maison passive

On dit d'une maison qu'elle est passive lorsque ses besoins en chauffage sont inférieurs à 15 kWh par m² habitable et par an.

Dans la région où est prévue la construction d'une maison de surface habitable 68 m², la température extérieure moyenne du sol en hiver est d'environ 10 °C et celle de l'air extérieur, 4 °C. Un poêle à bois maintient la température intérieure de la maison constante à T_i = 19 °C. Pendant une journée, les valeurs des transferts thermiques sont alors : pour les murs extérieurs Q_m = 56 MJ, pour les vitres Q_v, pour le sol Q_s = 37 MJ et pour les combles Q_c = 24 MJ.

Données : tableau des caractéristiques des vitres utilisées (ci-contre)
1 kWh = 3,6 × 10⁶ J ;
la résistance thermique R_{th} d'une paroi plane a pour

expression : $R = \frac{e}{\lambda \cdot S}$ où e est

l'épaisseur du matériau (m), λ la conductivité thermique caractérisant le matériau (W · m⁻¹ · K⁻¹) et S la surface de la paroi (m²).

1. **Déterminer** la résistance thermique R_v des vitres.

2. a. **Déterminer** Q_v.

b. **En déduire** la valeur du flux thermique fourni par un poêle à bois pendant une journée.

3. Dans ces conditions, si, par an, la période de chauffage dure 100 jours, peut-on considérer la maison comme passive ?

EXEMPLE DE RÉDACTION

1. $R = \frac{e}{\lambda \cdot S}$. AN : $R_v = 3,6 \times 10^{-2} / (0,023 \times 15) = 0,10 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$.

2. a. On sait que $\Phi = Q/\Delta t$ et $\Phi = (T_c - T_f)/R_{th}$
On en déduit que $Q_v/\Delta t = (T_i - T_{ext})/R_{th}$ donc $Q_v = (T_i - T_{ext}) \cdot \Delta t/R_v$
AN : $Q_v = (19 - 4) \times 24 \times 3\,600 / 0,10 = 1,3 \times 10^7 \text{ J} = 13 \text{ MJ}$.

b. Comme la température intérieure ne varie pas, on a pour la maison : $\Delta U = 0$.
Donc l'énergie fournie par les poêle compense les pertes d'énergie.
Donc on peut écrire : $Q_p = Q_m + Q_v + Q_s + Q_c$
AN : $Q_p = 56 + 13 + 37 + 24 = 130 \text{ MJ}$.

3. Besoin en chauffage par m² habitable et par an :
 $(130/3,6) \times 100/68 = 53 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{an}^{-1} > 15 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$ donc la maison ne peut pas être considérée comme passive.

LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

► Les températures données renseignent sur le sens du flux thermique et permettent d'en calculer sa valeur.

► Toutes les données sont nécessaires pour déterminer la résistance thermique des vitres (expression de la résistance et valeurs numériques utiles).

LES VERBES D'ACTION

► **Déterminer** : mettre en œuvre une stratégie pour trouver un résultat.

► **En déduire** : utiliser le résultat précédent pour répondre.

QUELQUES CONSEILS

1. Se baser sur l'expression de la résistance thermique donnée.
Il faut convertir l'épaisseur e en m. Les unités données pour S, e et λ aident à déterminer celle de R. Les données sont exprimées avec 2 chiffres significatifs donc le résultat aussi.

2. a. D'après l'énoncé, Δt correspond à une journée.
b. 1 MJ = 10⁶ J.

3. La période de chauffe ne dure pas toute l'année.

EXERCICE SIMILAIRE**30** Dans un sauna

Un sauna, installé dans un centre nautique, est constitué d'une pièce équipée de cloisons en bois doublées d'un bon isolant thermique. Il reçoit de l'énergie thermique grâce à une résistance électrique se trouvant à l'intérieur de la pièce. Des pierres de lave de faible résistance thermique sont positionnées sur une grille au-dessus de la résistance.

Les personnes se trouvant dans le sauna peuvent, si elles le désirent, arroser ces pierres avec de l'eau qui s'évapore à leur contact.

La température extérieure au sauna est de 18 °C. Pour maintenir une température de 80 °C à l'intérieur du sauna, la résistance reçoit une puissance P = 7,5 kW pendant 1,0 minute, toutes les 5 minutes.

Donnée : La puissance (en W) correspond à une variation d'énergie (en J) par unité de temps (en s) : $P = \Delta E/\Delta t$.

1. Quelle énergie thermique reçoit le sauna pendant la minute de chauffe ?
2. Que vaut la résistance thermique du sauna ?



Exercice résolu EN AUTONOMIE

31 Muffins sortis du four



Des muffins sont sortis du four à 12 h 00 quand ils sont brûlants ($100\text{ }^{\circ}\text{C}$). Après 10 minutes, leur température est de $80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

On suppose que la vitesse de refroidissement $dT(t)/dt$ des muffins est proportionnelle à la différence $(T(t) - T_{\text{cuis}})$ de la température des gâteaux au cours du temps et la température de la cuisine (autrement dit que la température des muffins suit la loi de Newton).

La cuisine est une pièce où il y fait $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

1. a. Établir l'équation différentielle du premier ordre vérifiée par $T(t)$ en prenant $-\gamma$ comme constante de proportionnalité ($\gamma > 0$).

b. Résoudre l'équation différentielle en donnant l'expression de $T(t)$ en fonction de γ et de T_{cuis} .

2. Déterminer la constante γ .

3. Combien de temps faudra-t-il attendre pour que la température des muffins soit divisée par 2 par rapport à celle à la sortie du four ?

LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

► On donne la température du système à l'instant initial et à un autre instant.

► La loi thermique de Newton est donnée dans l'énoncé, il convient juste de la retranscrire mathématiquement.

LES VERBES D'ACTION

► **Établir** : élaborer.

► **Résoudre** : trouver la solution.

► **Déterminer** : mettre en œuvre une stratégie pour trouver un résultat.

EXEMPLE DE RÉDACTION

1. a. La vitesse de refroidissement $dT(t)/dt$ des muffins est proportionnelle à la différence $(T(t) - T_{\text{cuis}})$. En prenant $-\gamma$ comme constante de proportionnalité, on peut écrire : $dT(t)/dt = -\gamma \cdot (T(t) - T_{\text{cuis}})$.

b. La solution générale de l'équation différentielle s'écrit :

$$T(t) = (T(0) - T_{\text{cuis}}) \cdot e^{-\gamma t} + \text{cste}$$

$$\text{À } t = 0, T(t) = T(0) = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Quand } t \rightarrow \infty, T(t) = \text{cste} = T_{\text{cuis}}$$

$$\text{Donc } T(t) = (100 - T_{\text{cuis}}) \cdot e^{-\gamma t} + T_{\text{cuis}}$$

$$\text{2. À } t = 10 \text{ min, } T(t) = 80 = (100 - T_{\text{cuis}}) \cdot e^{-\gamma \cdot 10} + T_{\text{cuis}} = 80 \cdot e^{-\gamma \cdot 10} + 20$$

$$\text{Donc } e^{-\gamma \cdot 10} = 60 / 80 \text{ donc } -10 \cdot \gamma = \ln(60/80)$$

$$\text{donc } \gamma = \ln(4/3)/10.$$

$$\text{3. On cherche } t \text{ qui vérifie : } T(0)/2 = 50 = 80 \cdot e^{-\gamma t} + 20 \text{ avec } \gamma = 0,1 \times \ln(4/3).$$

$$\text{Ce qui revient à écrire : } e^{-\gamma t} = 3/8$$

$$\text{Donc } -\gamma \cdot t = \ln(3/8) \text{ donc } t = \ln(8/3) / (0,1 \times \ln(4/3)) = 34 \text{ min.}$$

Donc 34 minutes après leur sortie du four, la température des muffins sera divisée par 2.

QUELQUES CONSEILS

$$\text{2. Dans ce cas } T_{\text{ext}} = T_{\text{cuis}}$$

$$\text{2. et 3. } \ln(e^a) = a$$

$$\ln(a/b) = -\ln(b/a)$$

EXERCICE SIMILAIRE

32 Crime dans une série TV

Dans une série TV policière, le corps d'une victime est trouvé sur lieu du crime à 2 h 20 une nuit d'hiver, dehors, où la température extérieure est de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. À l'heure de cette découverte macabre, la police scientifique relève que la température du corps est de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Une demi-heure plus tard, quand il est retiré, sa température n'est plus que de $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. En utilisant la loi de Newton, le médecin légiste va réussir à déterminer l'heure du crime.

Données : $T(\text{corps humain}) = 37\text{ }^{\circ}\text{C}$; loi thermique de Newton :

$$dT(t)/dt = -\gamma \cdot (T(t) - T_{\text{amb}})$$

1. Donner la valeur de T_{amb} .

2. Résoudre l'équation différentielle en donnant l'expression de $T(t)$ en fonction de γ .

3. a. Déterminer la valeur numérique de la constante γ .

b. En déduire l'expression générale de $T(t)$.

4. Déterminer l'heure du crime.



S'entraîner pour maîtriser

SAVOIR RÉDIGER

33 Proposer une correction de la solution proposée par un élève à l'énoncé.

Énoncé

1. L'intérieur d'un réfrigérateur est refroidi à l'aide d'un tube en métal dans lequel circule un fluide froid.

- Quelles sont les transferts thermiques mis en jeu ?
- Où est-il le plus judicieux de placer le tube métallique ?

2. La température à l'intérieur du réfrigérateur est de $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ alors que la température extérieure est de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. La résistance thermique est de $0,89\text{ K}\cdot\text{W}^{-1}$.

- Dans quel sens a lieu le transfert thermique ?
- Déterminer le flux thermique échangé entre le réfrigérateur et l'extérieur.
- En déduire l'énergie dissipée en kWh sur une année.

Solution proposée par un élève

1. a. Il y a de la conduction entre le tube en métal et l'air présent dans le réfrigérateur.

b. On place le tube métallique au milieu du réfrigérateur pour répartir le froid.

2. a. Le réfrigérateur va perdre du froid donc le transfert thermique va du réfrigérateur vers l'extérieur.

b. $\Phi = \Delta T / R = 16 / 0,89 = 17,98\text{ J}$

c. $1\text{ an} = 365,25 \times 24 = 8\,766\text{ h}$

$\Delta U = Q = \Phi / \Delta t = 2 \times 10^{-3}\text{ Wh}$

Attention à l'unité et aux chiffres significatifs.

Relation à revoir

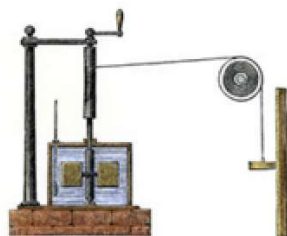
Il y a aussi un autre transfert qui a aussi une conséquence sur la place du tube.
Cours à revoir

34 Expérience de Joule

HISTOIRE DES SCIENCES



James Prescott Joule (1818-1889), médecin de formation, est un physicien anglais né à Salford, au Nord de l'Angleterre. À son époque, selon la théorie du « calorique », transfert thermique et travail sont deux grandeurs sans lien immédiat entre elles, qui s'expriment donc avec des unités distinctes : la calorie et le joule. Pendant de nombreuses années, Joule se consacra à la mesure des variations de températures provoquées par de multiples procédés mécaniques.



Lors de ses essais avec l'eau, il utilisait un récipient calorifugé (donc isolé thermiquement de l'extérieur). Quand on actionnait une tige munie de palettes verticales, l'eau était vigoureusement agitée, Joule notait avec soin la température avant et après agitation et constatait que celle-ci augmentait.

- Lorsque l'eau est agitée, quel effet mesurable est constaté ? Comment l'expliquer au niveau microscopique ?
- Quand on actionne la tige, quelle énergie est transférée à l'eau ?
- Quel type d'énergie a accumulé le système (eau + récipient) ?
- Établir le bilan énergétique en s'appuyant sur un diagramme d'énergie.
- En quoi cette expérience remettait-elle en cause la théorie du calorique ?

35 Bouilloire électrique

Une bouilloire électrique, de puissance électrique $1\,500\text{ W}$, porte $0,40\text{ L}$ d'eau initialement à la température de $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ en $1\text{ min }20\text{ s}$.

- Établir un bilan énergétique, sous forme de schéma, pour la bouilloire.
- Calculer le rendement énergétique de cette bouilloire.

Données :

- capacité thermique massique de l'eau : $c = 4,18\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$;
- expression du rendement énergétique : $\eta = E_{\text{utile}}/E_{\text{dépensée}}$;
- masse volumique de l'eau : $\rho = 1,0\text{ kg}\cdot\text{L}^{-1}$.

Coups de pouce

- L'énergie utile est ici l'énergie thermique réellement transmise à l'eau pour augmenter sa température.
- L'énergie dépensée correspond à l'énergie électrique consommée.
- La variation de température peut être exprimée directement en $^{\circ}\text{C}$.

36 Pompe à chaleur pour piscine

Le chauffage par pompe à chaleur (PAC) est une des solutions les plus performantes pour chauffer l'eau d'une piscine. La pompe à chaleur fonctionne grâce à l'existence simultanée d'une source de température variable au cours du temps et d'une source de température constante, en recevant de l'énergie électrique.

On étudie une piscine équipée d'une bâche qui rend négligeable les échanges thermiques entre l'eau et l'air extérieur. La température de l'eau, avant chauffage, est égale à la température extérieure de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. On souhaite une eau à $27\text{ }^{\circ}\text{C}$.



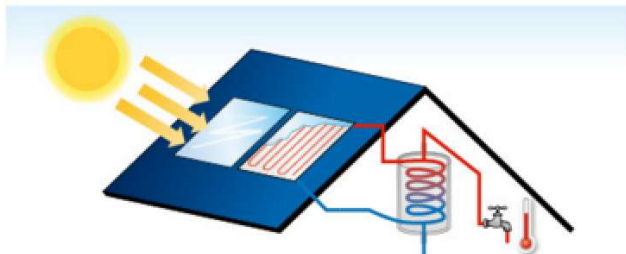
Données :

- capacité thermique massique de l'eau : $c = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;
- masse d'eau contenue dans la piscine : $m_{\text{eau}} = 10,0 \text{ tonnes}$;
- énergie électrique consommée par la PAC pour atteindre la température souhaitée : $W_e = 2,4 \times 10^8 \text{ J}$;
- expression du coefficient énergétique : $\eta = E_{\text{utile}}/E_{\text{dépensée}}$.

- On étudie le comportement thermique de l'eau de la piscine.
 - Expliquer ce qui se passe au niveau microscopique au niveau de l'eau pendant le fonctionnement de la PAC.
 - Calculer la variation d'énergie interne de l'eau quand l'eau a atteint la température souhaitée.
 - En déduire la valeur du transfert thermique fourni à l'eau par la PAC en explicitant le raisonnement.
- On étudie la PAC. La variation de l'énergie interne de la PAC est nulle.
 - Identifier la source chaude et la source froide lors du fonctionnement de la PAC.
 - Représenter un diagramme qui traduit le bilan énergétique de la PAC.
 - Déterminer le coefficient énergétique de la PAC.
 - Quelle énergie électrique W_e aurait dû fournir un mode de chauffage électrique classique (résistances chauffantes) pour obtenir la même température de l'eau ?
 - La PAC est-elle un dispositif de chauffage performant ?

37 Panneau thermique

Simplement décrit, un panneau solaire thermique est une boîte noire mate isolée, coiffée d'une vitre. À l'intérieur se trouve un serpentin de même couleur à travers lequel circule un fluide caloporteur. Le rayonnement solaire absorbé par le panneau chauffe le liquide caloporteur.



Données :

- Puissance solaire surfacique reçue au niveau du sol : $800 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$;
- constante de la loi de Stefan-Boltzmann $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$;
- $T(\text{K}) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273$.

En supposant que le fond du panneau rayonne en respectant la loi de Stefan-Boltzmann, calculer la température théorique T_{th} de celui-ci.

En réalité, le fluide caloporteur est à l'équilibre thermique à $\theta = 50^{\circ}\text{C}$. Expliquer cette différence.

38 Le bilan radiatif de Vénus

Vénus est la deuxième planète par ordre d'éloignement au Soleil. Elle est aussi grande que la Terre mais est entourée d'une atmosphère très épaisse.

Le flux thermique reçu au sommet de l'atmosphère vénusienne par le Soleil par unité de surface perpendiculaire aux rayons solaires (ou constante solaire) est connu. Il vaut en moyenne $F = 2\,800 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

On dit que l'équilibre radiatif d'une planète est atteint quand l'énergie rayonnée est égale à l'énergie reçue.

Vénus et son atmosphère présentent un albédo $A = 0,70$.



Données :

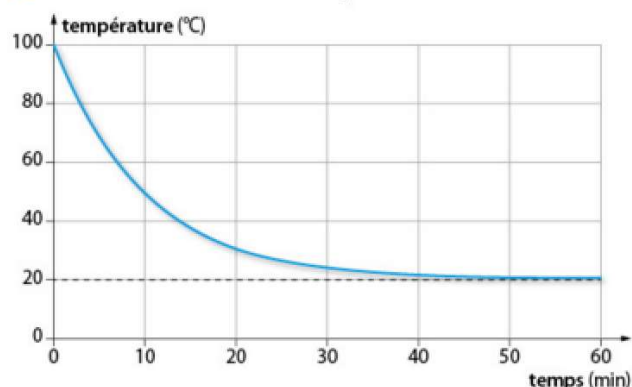
- loi de Stefan-Boltzmann $F = \sigma \cdot T^4$;
- constante de la loi de Stefan-Boltzmann $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$.

- Dans un premier temps, on ne tient pas compte de l'atmosphère de Vénus.
 - Faire un schéma simplifié du bilan énergétique d'une planète sans atmosphère dans le cas où l'équilibre radiatif est atteint.
 - Calculer la valeur du flux thermique par unité de surface vénusienne. La démonstration s'appuiera sur un schéma.
- Dans un second temps, on tient compte de l'albédo de Vénus et de son atmosphère.
 - Définir ce qu'on appelle un albédo.
 - Comparer l'albédo de Vénus à celui de la Terre. Comment expliquer cette différence ?
 - Calculer la valeur du flux thermique par unité de surface réellement absorbé par Vénus.
 - Calculer la température moyenne à la surface de Vénus en considérant cette planète comme un corps noir.
 - La température moyenne à la surface de Vénus est d'environ 450°C . Être critique sur la valeur calculée précédemment et justifier l'écart constaté.
- Comparer le bilan radiatif de la Terre et celui de Vénus et expliquer les différences.

39 Température d'une tasse de café

À l'aide d'une sonde de température, on relève l'évolution de la température d'une tasse de café dès lors qu'elle a été préparée. On obtient la courbe ci-dessous :

- Quelle est l'allure de la courbe obtenue ?
- Quelle est la valeur de la température ambiante ?



- c. Quelle est la valeur de la température initiale du café ? au bout de 10 min ? au bout de 30 min ?
2. On étudie cette phase de refroidissement modélisée par la loi de Newton : $dT(t)/dt = -\gamma \cdot (T(t) - T_{th})$ avec γ constante.
- a. Résoudre l'équation différentielle et donner l'expression de $T(t)$ en fonction de γ .
- b. Déterminer la valeur de γ .
- c. En déduire la durée nécessaire pour que la température du café ait diminué de moitié. Retrouve-t-on ce résultat par lecture graphique ?

Coups de pouce

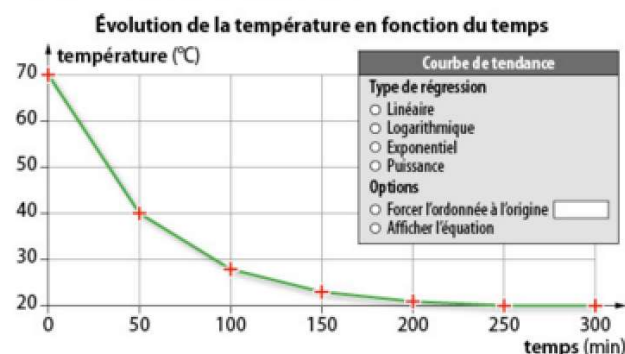
- Pour déterminer γ , prendre un point de la courbe expérimentale.
- Le temps où la température du café a diminué de moitié est donné par $T(t) = 50^\circ\text{C}$.

40 Courbe de tendance



TABLEUR-GRAPHEUR

À l'aide d'un dispositif d'acquisition relié à une sonde de température, on enregistre l'évolution de la température d'une eau chaude laissée à température ambiante. On obtient le graphe suivant que l'on souhaite modéliser à l'aide d'une courbe de tendance :



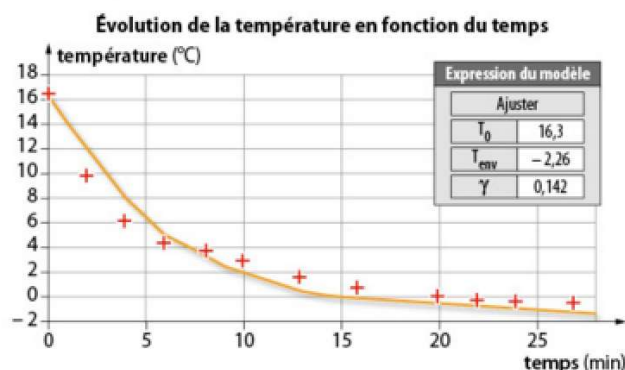
1. a. Quel type de régression faut-il choisir ici ?
- b. Est-il judicieux de forcer ici l'ordonnée à l'origine ? Si oui, par quelle valeur ?
2. Quelle va être l'équation de la courbe de tendance affichée ?

41 Modélisation



À l'aide d'un dispositif d'acquisition relié à une sonde de température, on enregistre l'évolution de la température d'une eau plongée dans un mélange réfrigérant. On obtient le graphe suivant que l'on modélise à l'aide d'une courbe de tendance.

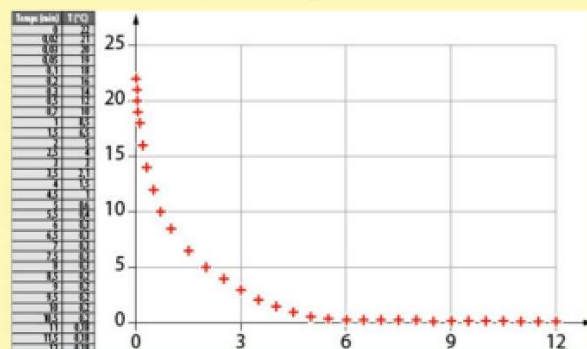
Comment expliquer l'écart entre le modèle retenu et la courbe expérimentale ?



À L'ORAL

42 Loi de refroidissement de Newton

On considère l'acquisition expérimentale suivante :



Élaborer un exposé oral de quelques minutes présentant :

- l'acquisition qui a été faite ;
- le protocole expérimental qui a pu être mis en œuvre pour l'obtenir ;
- le bilan énergétique qui traduit le phénomène observé ;
- l'explication microscopique du phénomène observé ;
- l'équation différentielle qui régit l'évolution observée ;
- la solution de l'équation différentielle en précisant la valeur des grandeurs.

Les mots-clés à utiliser

- loi de refroidissement de Newton ;
- transfert thermique ;
- agitation thermique ;
- conduction ;
- température du thermostat ;
- système ;
- premier principe de la thermodynamique.

43 RETOUR SUR LA PAGE D'OUVERTURE

On sait évaluer la température moyenne des planètes.



Préparer un exposé oral qui explique :

- comment déterminer théoriquement la température moyenne terrestre ;
- quels sont les paramètres à intégrer au modèle pour s'approcher de la valeur réelle qui est de 15°C .

Développer ses compétences

44 La glacière du désert RÉSOLUTION DE PROBLÈME

COM Présenter une démarche de manière argumentée, synthétique et cohérente

Le « bojito » est une cruche en terre cuite, jadis utilisée dans les régions méditerranéennes pour refroidir les liquides (eau et vin).



DOC 1 Le principe du « bojito »

Le « bojito » est composé d'un pot de terre cuite poreux imprégné d'eau. De la même manière que l'on ressent le froid quand on sort d'un bain, l'eau qui imprègne la terre cuite s'évapore et provoque un refroidissement. En pratique, on peut observer des chutes de températures de l'ordre de 5 °C à 20 °C !

DOC 2 Dispositif expérimental et résultats obtenus

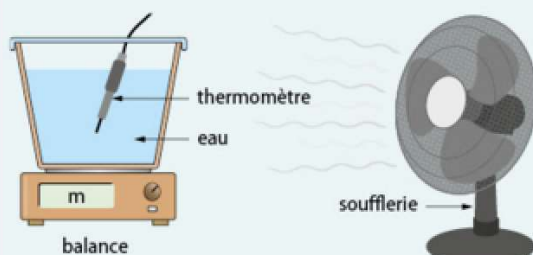


FIG. 1 Dessin de l'expérience.

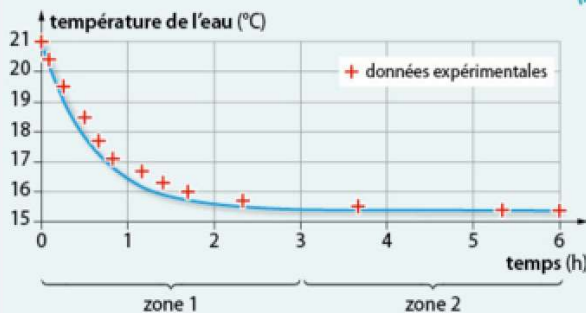


FIG. 2 Évolution de la température de l'eau au cours du temps.

Une expérience (FIG. 1) est réalisée au laboratoire afin de modéliser le comportement du système (cruche + eau). Le récipient contient un volume V d'eau liquide initialement à la température ambiante de 21 °C. La terre cuite de la cruche poreuse est imbibée d'eau liquide. L'expérience est réalisée dans des conditions stables d'humidité, dans un milieu de température ambiante constante à 21 °C et avec une soufflerie reproduisant un vent de vitesse constante $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Pendant six heures, on procède aux relevés simultanés des valeurs de la température de l'eau à l'intérieur de la cruche (FIG. 2) et de la masse totale de système (cruche + eau) (FIG. 3).

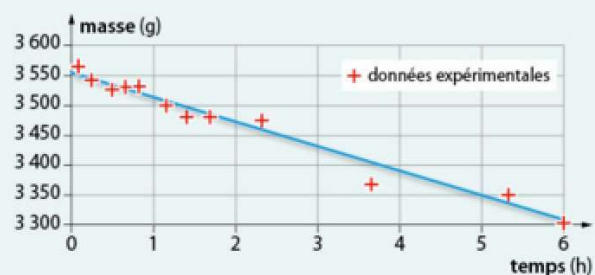
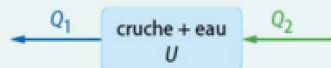


FIG. 3 Évolution de la masse du système (cruche + eau) au cours du temps.

DOC 3 Schéma des échanges d'énergie

Le bilan énergétique, pendant une durée Δt , peut être représenté par le diagramme suivant :



Q_1 : énergie cédée à l'extérieur par vaporisation de l'eau :
 $Q_1 = m \cdot L_v$ avec m la masse d'eau vaporisée pendant la durée Δt .
 Q_2 : énergie reçue de l'extérieur par contact avec l'air.
 U : énergie interne du système.

DONNÉES

- ▶ capacité thermique massique de l'eau : $c_{\text{eau}} = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- ▶ énergie massique de vaporisation de l'eau à 20 °C : $L_v = 2,4 \times 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
- ▶ capacité thermique de la cruche : $C_{\text{cruche}} = 2,1 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1}$
- ▶ masse volumique de l'eau : $\rho_{\text{eau}} = 1,0 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$
- ▶ $V = 1,9 \text{ L}$

QUESTIONS PRÉLIMINAIRES

- Calculer la variation d'énergie d'un volume $V = 1,9 \text{ L}$ d'eau dont la température diminue de 1 °C.
- Déterminer la valeur de la masse d'eau du système (cruche + eau) qui se vaporise au cours du temps en gramme par heure.
- Justifier l'existence des deux zones de la figure 2.

LE PROBLÈME À RÉSOUDRE

Pour prévoir la température du bojito au bout de la première heure, peut-on modéliser le fonctionnement en négligeant l'énergie reçue Q_2 de l'extérieur sur cette durée ?

Il est attendu une prise d'initiatives et une présentation de la démarche suivie même si elle n'a pas abouti.

45 Diagnostic de performance énergétique d'une habitation RÉSOLUTION DE PROBLÈME

(AN/RAI) Proposer une stratégie de résolution

Un acquéreur potentiel d'une habitation souhaite se renseigner sur son isolation thermique et connaître sa classe énergétique.



DOC 1 Le DPE

Obligatoire depuis l'année 2006 lors de la vente d'un logement et depuis 2007 lors de la location d'un logement, le diagnostic de performance énergétique, le DPE, renseigne sur la performance énergétique d'un logement ou d'un bâtiment, en évaluant sa consommation d'énergie totale annuelle (chauffage, eau chaude, électroménager).

La lecture du DPE est facilitée par une étiquette « énergie » (FIG. 1) comportant 7 classes de A à G (A correspondant à la meilleure performance, G à la plus mauvaise).



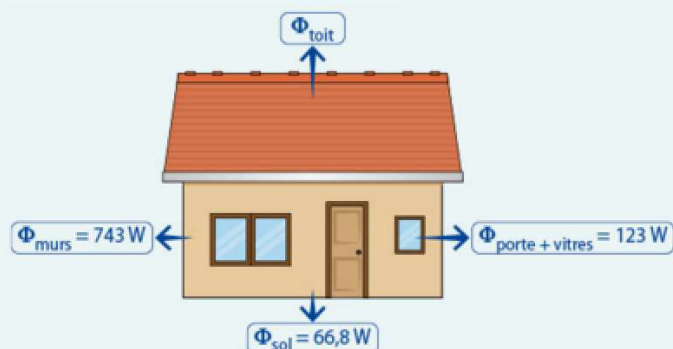
FIG. 1 Les 7 classes des consommations énergétiques en kWh/an et par m² de surface habitable.

DOC 2 Caractéristiques thermiques de l'habitation

	Surface (m²)	Matériau	Épaisseur e (mm)	Conductivité thermique λ (W · m⁻¹ · K⁻¹)	Résistance thermique R_{th} (K · W⁻¹)
Toitures	115	Laine de chanvre	100	0,042	R_{th} (toit)
		Terre cuite (tuile)	40	0,60	
Murs	91	Plâtre	13	0,46	0,020
		Polystyrène	50	0,036	
		Brique pleine	210	0,50	

DOC 3 Caractéristiques générales de l'habitation

L'habitation est une maison sans étage de surface habitable de 100 m². Elle est construite dans une région où la température de l'air extérieur durant la période de chauffage vaut en moyenne $T_e = 4,0$ °C. Pendant la période de chauffage, l'intérieur de la maison est maintenu à une température constante $T_i = 19$ °C grâce au système de chauffage. On estime la durée annuelle de chauffage à 120 jours et que le chauffage représente 60 % de la consommation d'énergie annuelle.

DOC 4 Flux thermiques moyens lorsque $T_e = 4,0$ °C et $T_i = 19$ °C

QUESTIONS PRÉLIMINAIRES

- Les transferts thermiques s'effectuent selon trois modes de transfert. Citer ces trois modes et donner pour chacun ses caractéristiques.
- Dans le cas où une paroi est constituée de plusieurs couches de matériaux d'épaisseurs et de conductivités différentes, les résistances thermiques de chaque couche s'additionnent.

Calculer la résistance thermique de la toiture notée $R_{th}(\text{toit})$ et en déduire que le flux thermique moyen à travers le toit en hiver est égal à $\Phi_{\text{toit}} = 7,0 \times 10^2$ W.

Donnée : expression de la résistance thermique : $R = \frac{e}{\lambda \cdot S}$ avec e épaisseur (en m) et S surface (en m²) de la paroi.

LE PROBLÈME À RÉSOUDRE

Afin de conserver une température constante dans l'habitation, la puissance moyenne du système de chauffage doit être égale au flux thermique moyen sortant de la maison.

Déterminer la classe énergétique de l'habitation.

Il est attendu une prise d'initiatives et une présentation de la démarche suivie même si elle n'a pas abouti.

46 Tapis de sol pour randonnée RÉSOLUTION DE PROBLÈME

(AN/RAI) Choisir un modèle ou des lois pertinentes

Entre deux tapis de sol en mousse proposés à la vente sur un site d'articles de sport, le « isotapis » et le « thermoplus », un randonneur pense acquérir le premier.

DOC 1 Documentation sur les tapis de sol en mousse

Lorsque vous posez votre sac de couchage à même le sol et que vous vous allongez, vous écrasez votre sac de couchage, ce qui le rend inefficace. En contact avec un sol froid, vous perdez de l'énergie par transfert thermique. L'utilisation d'un matelas de sol, qui conserve son épaisseur et sa capacité d'isolation, même soumis à la pression, limite ce phénomène.

DOC 2 Caractéristique du matelas « isotapis »

Conductivité thermique : $\lambda = 0,03 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;
dimensions : $193 \text{ cm} \times 62 \text{ cm} \times 1,1 \text{ cm}$.

DONNÉES

- ▶ température de l'air et du sol : 15°C
- ▶ température de la peau : 33°C
- ▶ expression de la résistance thermique : $R = \frac{e}{\lambda \cdot S}$ avec e épaisseur (en m) et S surface (en m^2) de la paroi.

QUESTIONS PRÉLIMINAIRES

1. a. Indiquer dans quel sens se fait le transfert thermique à travers le matelas lorsque le randonneur est allongé.
b. Nommer le phénomène de transfert thermique et le décrire à l'échelle microscopique.
2. Estimer la surface du corps humain au contact du matelas pour ne retenir qu'une des 4 valeurs suivantes :
 $0,005 \text{ m}^2$ $0,05 \text{ m}^2$ $0,5 \text{ m}^2$ 5 m^2



LE PROBLÈME À RÉSOUDRE

Le randonneur souhaite comparer les capacités d'isolation thermique des deux matelas de sol en se plaçant dans les mêmes conditions d'utilisation. Pour simplifier, il fait l'hypothèse que les résistances thermiques des vêtements et du sac de couchage sont négligeables.

Après avoir calculé le flux thermique Φ traversant le matelas « isotapis » et sachant que, dans les mêmes conditions, celui du matelas « thermoplus » est de 40 W , identifier, en justifiant, le matelas qui possède les meilleures capacités d'isolation thermique.

VERS LE SUP

47 Chauffe puis refroidissement

Un liquide est contenu dans un récipient dont les parois sont à température constante T_p . Dans une 1^{re} expérience on chauffe le liquide à l'aide d'une résistance chauffante de puissance $P = 96,0 \text{ W}$. Dans une 2^e expérience, on coupe le dispositif de chauffage.

Données : masse volumique du fluide $\rho = 1\,000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$;
volume du fluide $V = 0,1 \text{ L}$; capacité thermique massique du fluide : $1\,800 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

1. Lors de la chauffe, le bilan d'énergie conduit à l'équation différentielle suivante :

$$\rho \cdot V \cdot c \cdot dT/dt = -\alpha \cdot (T - T_p) + P$$

- a. Montrer sans calcul que cette équation différentielle traduit le premier principe de la thermodynamique. α est une constante, identifier les autres termes.
- b. Déterminer l'expression puis la valeur de $T - T_p$ quand la température est stabilisée.
- c. En déduire la valeur de α et son unité.

2. a. En phase de refroidissement, montrer en quoi le bilan énergétique est modifié et donner l'expression de dT/dt .
b. Établir l'expression de $T - T_p$ en fonction du temps t par résolution de l'équation différentielle. On notera $T_{\max}$ la température initiale lors de la phase de refroidissement.
c. Le tracé de $\ln(T - T_p)$ (avec $T - T_p$ en Kelvin) en fonction du temps donne une droite d'équation $y = -1,33 \times 10^{-2} \cdot x + 3,68$ (avec x en seconde).

En déduire dans ce cas la valeur de α et son unité. Est-elle cohérente avec celle donnée lors de la phase de chauffe ?

