

Premier principe

Avant d'aborder le chapitre

EN AUTONOMIE

LES ACQUIS INDISPENSABLES

• Énergie mécanique

$$E_m = E_c + E_p$$

énergie mécanique (en J) → E_m ← énergie cinétique (en J)
← énergie potentielle (en J)

• Théorème de l'énergie cinétique

$$\Delta E_c = E_c(B) - E_c(A) = \sum W_{AB}(\vec{F})$$

somme des travaux des forces (en J) ↓
variation d'énergie cinétique (en J)

• Puissance et énergie

$$E = P \cdot \Delta t$$

énergie utilisée ou fournie par un dipôle (en J) → E ← puissance utilisée ou fournie par le dipôle (en W)
durée d'utilisation (en s)

• Bilan radiatif

Le **bilan radiatif** terrestre se traduit par la différence entre l'énergie solaire reçue par la Terre et l'énergie émise vers l'espace. L'**albédo** et l'**effet de serre** ont une influence sur la température de la planète.

POUR VÉRIFIER LES ACQUIS

Pour chaque situation, rédiger une réponse qui explique en quelques lignes le raisonnement.



SITUATION 1

Pendant leur course d'élan, les bobeurs poussent le bobsleigh sur une piste rectiligne et horizontale.

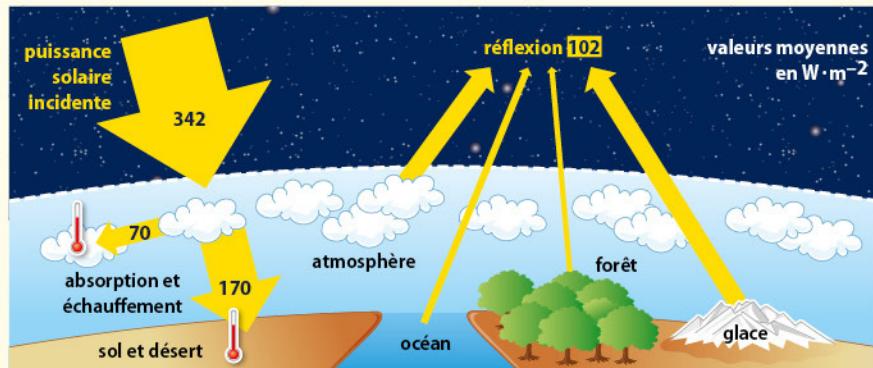
Quelle énergie est acquise par le bobsleigh lors de cette phase ? D'où provient-elle ?



SITUATION 2

L'albédo correspond à la proportion de l'énergie reçue par la Terre qui est réfléchie. Le document ci-dessous traduit le devenir du rayonnement solaire reçu par la Terre.

Déterminer la valeur de l'albédo terrestre.



de la thermodynamique

16

PHYSIQUE

La température moyenne terrestre est de 15 °C. Comment la déterminer théoriquement et quels sont les paramètres à intégrer au modèle pour l'estimer ?

EXERCICE 43

NOTIONS ET CONTENUS

- ▶ Énergie interne d'un système.
- ▶ Premier principe de la thermodynamique.
- ▶ Transfert thermique : capacité thermique, modes de transferts thermiques.
- ▶ Flux thermique : sens de transferts thermiques, résistance thermique.
- ▶ Température terrestre moyenne : loi de Stefan-Boltzmann, albédo et effet de serre.
- ▶ Système en contact avec un thermostat : loi de Newton, évolution de la température.

CAPACITÉS EXPÉRIMENTALES

- ▶ Effectuer l'étude énergétique d'un système thermodynamique. ➔ **Activité 2**
- ▶ Suivre et modéliser l'évolution de la température d'un système incompressible. ➔ **Activité 4** ➔ Pour préparer l'ECE

CAPACITÉ MATHÉMATIQUE

- ▶ Résoudre une équation différentielle linéaire du premier ordre à coefficients constants avec un second membre constant. ➔ **Activité 4**

1. ACTIVITÉ DE DÉCOUVERTE

CLASSE INVERSÉE

COMPÉTENCES :

(APP) Rechercher et organiser l'information utile

(COM) Utiliser un vocabulaire adapté

Modes de transfert thermique

Un système dont la température évolue échange de l'énergie avec l'extérieur sous forme de transfert thermique. Comment ce transfert thermique peut-il s'effectuer ?

DOC 1 Conduction thermique

Une casserole en contact avec une plaque électrique se réchauffe. Au niveau microscopique, l'agitation thermique se transmet de proche en proche. Pour comprendre le phénomène de conduction au niveau microscopique, le recours à une animation peut être utile.



DOC 3 Les trois modes de transferts thermiques

La conduction thermique

L'énergie thermique, du fait de l'agitation thermique au niveau microscopique, se transmet de proche en proche sans transport de matière.

La convection thermique

L'énergie thermique se transmet de proche en proche dans la matière avec déplacement de celle-ci.

Le rayonnement

L'énergie thermique est transmise sans support de matière par rayonnement.

DOC 2 Convection thermique

Mouvements de l'air, des liquides... le phénomène de convection thermique est un mode de transfert lié aux mouvements de la matière. Pour le comprendre, le recours à une animation peut être utile.



EXPLOITATION ET ANALYSE

1 a. Décrire les mouvements des particules de matière :

- lors d'une convection thermique ;
- lors d'une conduction thermique.

2 Quelle est la particularité d'un transfert thermique par rayonnement ?

DOC 4 Situations du quotidien

Une casserole d'eau sur une plaque électrique



Un plat réchauffé par un four à micro-ondes



Une pièce chauffée par un radiateur



L'eau d'une piscine en été



SYNTHÈSE

En vous basant sur les documents mis à disposition, identifier le (ou les) transfert(s) thermique(s) mis en jeu dans différentes situations de la vie courante.

Je réussis si...

► Je sais caractériser et identifier les trois modes de transferts thermiques.

2. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

TP

COMPÉTENCES :

(RÉA) Mettre en œuvre un protocole expérimental

(VAL) Interpréter des mesures

Capacité thermique

La capacité thermique traduit la capacité de chaque matériau, chaque système à stocker de l'énergie interne et à la restituer lors d'un transfert thermique. Comment la déterminer ?

PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

Déterminer la capacité thermique d'un calorimètre

- Verser 200 g d'eau initialement chauffée à une température T_c dans 100 g d'eau à température ambiante T_{amb} contenue dans un calorimètre.
- Mélanger puis agiter le contenu du calorimètre dont le couvercle est fermé jusqu'à ce que la température finale T_{finale} se stabilise.
- Si le calorimètre est parfaitement isolé, le système (eau + calorimètre) n'échange aucune énergie avec l'extérieur.

DOC 1 Dispositif expérimental



VOCABULAIRE

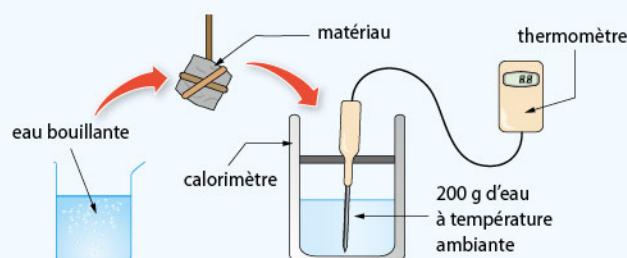
► **Transfert thermique** : transfert d'énergie entre le système et l'extérieur qui se traduit par une variation de température.

► **Énergie interne** : énergie propre du système.

PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

Déterminer la capacité thermique d'un matériau

- Placer une masse m de ce matériau initialement plongé dans une eau bouillante à 100 °C dans 200 g d'eau à température ambiante T_{amb} contenue dans un calorimètre.
- Mélanger puis agiter le contenu du calorimètre dont le couvercle est fermé jusqu'à ce que la température finale T_{finale} se stabilise.
- L'énergie reçue alors par le système (eau + calorimètre) provient du matériau.



DOC 2 Transfert thermique, capacité et variation de l'énergie interne

Pour un système incompressible, la variation d'énergie interne (en J) s'écrit : $\Delta U = Q$

$$\begin{array}{ccc} \text{transfert} & \rightarrow & Q = C \cdot \Delta T \\ \text{thermique (J)} & & \leftarrow \text{variation de température (K)} \\ & & \uparrow \\ & & \text{capacité thermique (J} \cdot \text{K}^{-1}\text{)} \\ \text{transfert} & \rightarrow & C = m \cdot c \\ \text{thermique (J)} & & \leftarrow \text{capacité thermique massique (J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}\text{)} \\ & & \uparrow \\ & & \text{masse (kg)} \end{array}$$

Capacité thermique massique de l'eau : $c_{\text{eau}} = 4,18 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

EXPLOITATION ET ANALYSE

1 Détermination de la capacité thermique du calorimètre

- Réaliser le protocole expérimental permettant de déterminer la capacité thermique du calorimètre C_{calo} en prenant soin de noter les valeurs de T_{amb} , T_c et T_{finale} .
- Effectuer l'étude énergétique du système (eau + calorimètre).
- En déduire la valeur de C_{calo} .

2 Détermination de la capacité thermique d'un matériau

- Réaliser le protocole expérimental permettant de déterminer la capacité thermique massique d'un matériau c_{mat} en prenant soin de noter les valeurs de T_{amb} , T_c et T_{finale} .
- Effectuer l'étude énergétique du système (eau + matériau + calorimètre).
- En déduire la valeur de c_{mat} .

CONCLUSION



Donner les capacités thermiques massiques des différents matériaux utilisés.

Avoir un regard critique sur les incertitudes de mesures.

Je réussis si...

- Je sais mettre en œuvre un protocole expérimental pour déterminer une capacité thermique.
- Je sais effectuer l'étude énergétique nécessaire à la détermination d'une capacité thermique.

3. RÉSOLUTION DE PROBLÈME

COMPÉTENCES :

(RÉA) Utiliser un modèle

(VAL) Confronter un modèle à des résultats expérimentaux

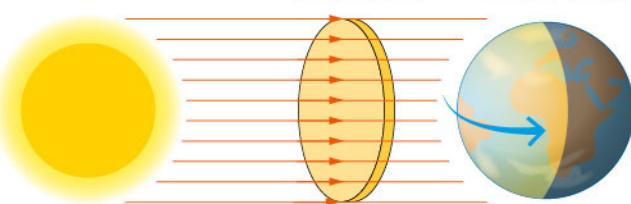
Température terrestre moyenne

La moyenne de la température sur toute la surface de la Terre (surfaces émergées et océans, mers et lacs) est de 15 °C. Comment estimer cette valeur de température ?

DOC 1 Flux thermique reçu du Soleil par unité de surface

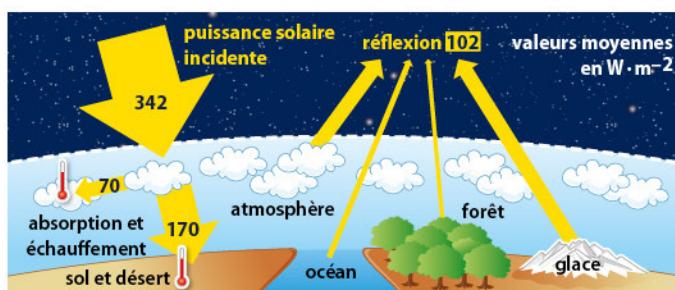
Le flux thermique reçu au sommet de l'atmosphère terrestre par le Soleil par unité de surface perpendiculaire aux rayons solaires (ou constante solaire) est connu. Il vaut en moyenne $F = 1\ 368 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Il se répartit sur la totalité de la surface de la Terre où sa valeur est $F' = 342 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

$$\begin{array}{ll} \text{disque plat immobile} & \text{sphère en rotation} \\ \text{surface : } \pi R_{\text{atm}}^2 & \text{surface : } 4\pi R_{\text{atm}}^2 \end{array}$$



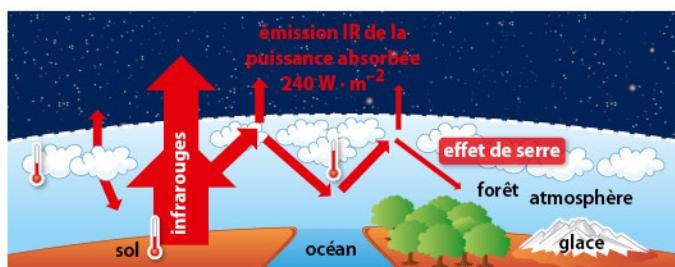
DOC 3 Albédo terrestre

L'albédo correspond à la proportion de l'énergie reçue par la Terre qui est réfléchie et n'est donc pas absorbée.



DOC 4 Effet de serre

L'effet de serre est un phénomène naturel de réchauffement d'une planète, provoqué par les gaz de son atmosphère qui absorbent une partie du rayonnement infrarouge émis par le sol.



DONNÉE



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

DOC 2 Loi de Stefan-Boltzmann

Tout corps de température non nulle perd de l'énergie par rayonnement. La loi de Stefan-Boltzmann définit la relation qui existe entre le flux thermique par unité de surface d'un objet et la température de l'objet considéré comme un « corps noir » :

Loi de Stefan-Boltzmann

$$\text{flux thermique par unité de surface (W} \cdot \text{m}^{-2}\text{)} = F = \sigma \cdot T^4$$

température du « corps noir » (K)

$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ SI}$

VOCABULAIRE

► Le **flux thermique** désigne la puissance thermique.

► Le **corps noir** est un corps idéal qui émet sous forme d'un rayonnement toute l'énergie qu'il reçoit.

QUESTIONS PRÉLIMINAIRES

- 1 Déterminer l'unité de la constante σ présente dans la loi de Stefan-Boltzmann.
- 2 a. Quel est le rapport entre le flux thermique surfacique F' reçu du Soleil au niveau de la Terre et la constante solaire F ?
b. Expliquer la valeur de ce rapport.

PROBLÉMATIQUE

On peut estimer que la température terrestre moyenne est globalement stable et donc dire que le flux thermique reçu du Soleil est égal au flux thermique émis par la Terre.

Déterminer, en détaillant la démarche suivie, la température moyenne terrestre théorique et expliquer l'écart entre cette valeur théorique et la valeur réelle.

Je réussis si...

- Je sais écrire le bilan énergétique de la Terre.
- Je sais utiliser la loi de Stefan-Boltzmann.

4. ACTIVITÉ EXPÉIMENTALE

TP

COMPÉTENCES :

(RÉA) Utiliser un modèle

(VAL) Confronter un modèle à des résultats expérimentaux

Loi de refroidissement de Newton

Une boisson chaude laissée à l'air libre refroidit jusqu'à atteindre la température ambiante.
Peut-on décrire ce processus par un modèle mathématique et prédire la durée du refroidissement ?

PROTOCOLE EXPÉIMENTAL

Afin d'effectuer l'expérience sur une durée la plus courte possible, on utilise une petite quantité d'eau qu'on prend à une température de plusieurs dizaines de °C au-dessus de la température ambiante.

- Mettre l'eau dans un récipient et porter sa température à 100 °C.
- Relier le capteur de température à un ordinateur et plonger le capteur dans l'eau chaude.

DOC 1 Dispositif expérimental



DOC 2 L'hypothèse de Newton

Isaac Newton a fait l'hypothèse que le taux de variation de température d'un corps qui se refroidit est proportionnel à la différence de température entre le corps et la température ambiante :

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

À partir de cette hypothèse, il a montré que l'évolution de la température d'un corps décrit une exponentielle décroissante selon l'équation :

$$T = (T_0 - T_{\text{amb}}) \cdot e^{-\gamma \cdot t} + T_{\text{amb}}$$

Avec $(T_0 - T_{\text{amb}})$ la différence initiale de température. T_0 est la température initiale du système.



MESURES

- 1 Après avoir mesuré la température ambiante, effectuer l'acquisition de l'évolution de la température d'un échantillon d'eau, initialement chauffé, laissé à l'air libre en fonction du temps.

ANALYSES

- 2 a. Modéliser la courbe d'évolution de la température obtenue par une exponentielle de type : $T = A \cdot e^{-C \cdot t} + B$.
b. Faire correspondre les variables A, B et C aux termes de l'expression donnée par Newton.

- 3 a. Utiliser l'équation pour calculer la température au bout de 15 min de refroidissement. Comparer le résultat à la valeur mesurée.
b. Utiliser l'équation pour prédire la durée nécessaire pour que l'eau atteigne une température supérieure de 1 °C à la température ambiante.

CONCLUSION

Comment évolue la température d'un corps, initialement chauffé, laissé à l'air libre ?

Si la différence de température initiale entre le corps et l'air est deux fois plus faible, la durée de refroidissement est-elle deux fois plus courte ?

Je réussis si...

► Je sais faire l'acquisition de mesures.

► MATHS Je sais modéliser la courbe expérimentale obtenue.

► Je sais utiliser la loi de Newton pour prédire une température ou une durée de refroidissement.

1 Premier principe de la thermodynamique

► Notion d'énergie interne

Lorsqu'on effectue une étude énergétique, il est nécessaire de définir l'objet sur lequel porte l'étude. Cet objet est appelé système.

L'énergie interne d'un système est son énergie propre. Elle correspond à la **somme de toutes les énergies** qui existent à l'intérieur de ce système, au niveau microscopique du fait de ses constituants (FIG. 1).



FIG. 1 L'eau contenue dans cette casserole peut être considérée comme un système. Du fait de l'agitation des molécules d'eau et des interactions qui existaient entre elles, ce système possède une énergie interne.

► Aspect microscopique

Étant donné la complexité d'appréhender le comportement de toutes les particules qui constituent un système, l'énergie interne n'est pas directement calculable. On pourra néanmoins déterminer sa variation.

L'énergie interne, notée U , ou sa variation notée ΔU , s'exprime, comme toute énergie, en **joule (J)**.

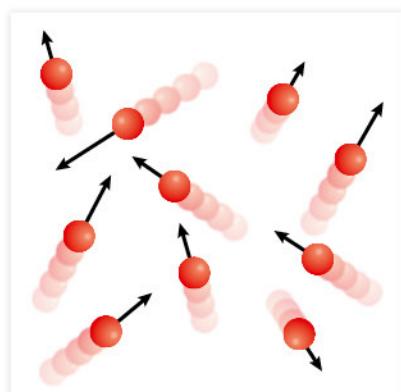


FIG. 2 L'agitation thermique désordonnée des entités microscopiques d'un système contribue à l'existence de l'énergie interne de celui-ci.

► Contributions microscopiques

Les énergies présentes au niveau microscopique sont les énergies cinétiques microscopiques et les énergies potentielles d'interactions microscopiques.

Les **énergies cinétiques microscopiques** sont liées à l'**agitation thermique** des particules qui constituent le système (FIG. 2). Elles augmentent avec la température du système.

EXEMPLE

Dans l'air, les molécules de dioxygène ont une vitesse moyenne de $4,6 \times 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ à 0°C et de $5,0 \times 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ à 20°C . Leur énergie cinétique microscopique augmente avec la température.

Les **énergies potentielles d'interaction** sont liées aux **interactions** entre les particules qui constituent le système. Elles peuvent être des interactions intramoléculaires ou intermoléculaires (FIG. 3).

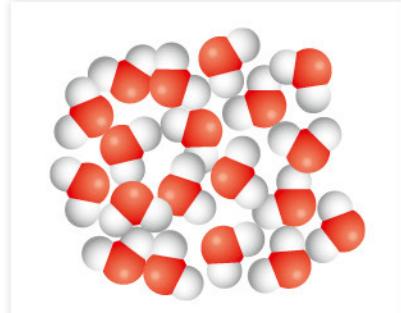


FIG. 3 Les interactions qui existent au niveau microscopique entre les molécules constituant un système contribue à l'existence de l'énergie interne de celui-ci.

► Énergie totale d'un système

Un système peut aussi, s'il est en mouvement, posséder une énergie cinétique ou, s'il est en hauteur, une énergie potentielle de pesanteur.

L'**énergie totale** d'un système est la somme de son énergie cinétique, de son énergie potentielle de pesanteur et de son énergie interne :

$$E_{\text{tot}} = E_c + E_{\text{pp}} + U$$

énergie totale (J) énergie interne (J)
 énergie cinétique (J) énergie potentielle de pesanteur (J)

Un système au repos à l'échelle macroscopique a une énergie macroscopique constante : $E_c + E_{\text{pp}} = \text{constante}$

La variation d'énergie totale d'un **système au repos à l'échelle macroscopique** est égale à sa variation d'énergie interne.

$$\Delta E_{\text{tot}} = \Delta U$$

► Premier principe de la thermodynamique

On considère dans la suite que le système est au repos à l'échelle macroscopique et qu'il est **fermé**, autrement dit qu'il n'échange pas de matière avec l'extérieur.

Le **premier principe de la thermodynamique** indique que si un système fermé au repos a son énergie qui varie, c'est qu'il échange avec l'extérieur de l'énergie soit sous forme de **travail (W)** soit sous forme de **transfert thermique (Q)** :

$$\begin{array}{ccc} \text{variation} & \xrightarrow{\Delta U = W + Q} & \text{transfert} \\ \text{d'énergie} & & \text{thermique (J)} \\ \text{interne (J)} & \uparrow & \\ \text{travail (J)} & & \end{array}$$



FIG. 4 W_e correspond à l'énergie reçue du réseau électrique par une bouilloire et Q l'énergie fournie à l'eau par celle-ci. Pour la bouilloire : $W_e > 0$ et $Q < 0$.

Remarque. Le 1^{er} principe de la thermodynamique sert à effectuer l'étude thermique ou le bilan thermique.

Le terme ΔE_{tot} correspond à la variation de l'énergie du système, W et Q correspondant à des transferts d'énergie entre le système et l'extérieur.

Remarque. Quand les transferts d'énergie conduisent à une augmentation d'énergie du système, on a $\Delta U > 0$ (FIG. 4).

2 Transferts et flux thermiques

► Capacité thermique

Un système peut stocker de l'énergie sous forme d'énergie interne et restituer ensuite cette énergie. La capacité thermique traduit cette possibilité.

La **capacité thermique C** d'un système est une grandeur qui traduit l'énergie qu'il faut transférer à celui-ci pour augmenter sa température de 1 kelvin.

Remarque. Comme il s'agit d'une variation de température, on peut raisonner directement sur des températures en degré Celsius.

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

► Transfert thermique

Un **transfert thermique Q** est un transfert d'énergie entre le système et l'extérieur qui se traduit par une variation de température ΔT du système :

$$\begin{array}{ccccc} \text{transfert} & \xrightarrow{Q = C \cdot \Delta T} & \text{variation de} & \text{capacité thermique} & \\ \text{thermique} & & \text{température} & \text{massique (J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}\text{)} & \\ (\text{J}) & & (\text{K}) & & \\ \text{capacité thermique} & & & & \\ (\text{J} \cdot \text{K}^{-1}) & & & & \\ \text{masse (kg)} & & & & \end{array}$$

Pour un système fermé au repos et incompressible, on a : $\Delta U = Q = C \cdot \Delta T$

► Modes de transferts thermiques

Il existe trois modes de transferts thermiques (qui peuvent coexister), selon la façon dont l'énergie est transférée.

La **conduction** est un transfert thermique par contact entre le système et l'extérieur.

EXEMPLE

Une casserole en contact avec une plaque électrique s'échauffe (FIG. 5). Au niveau microscopique, l'agitation thermique se transmet de proche en proche sans transport de matière.



FIG. 5 Le fond de la casserole s'échauffe au contact de la plaque électrique.

La **convection** est un transfert thermique entre le système et l'extérieur par mouvement de matière au sein du système.

EXEMPLE

L'air d'une pièce peut se réchauffer à l'aide d'un radiateur placé au bord de la pièce par circulation des particules de l'air (FIG. 6). L'air chaud moins dense s'élève et l'air froid plus dense descend, le tout crée un mouvement de convection.

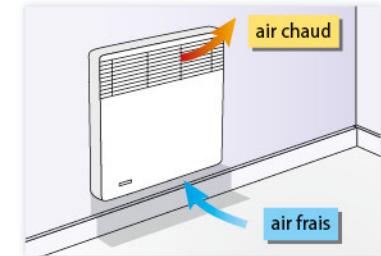


FIG. 6 Le principe d'un convecteur électrique repose sur le mouvement de convection de l'air.

Le **rayonnement** est un transfert thermique qui se fait par le biais d'une onde électromagnétique.

EXEMPLE

Le Soleil réchauffe la Terre à distance (FIG. 7).

► Sens de transfert thermique

Un transfert thermique ne peut se faire que **dans un seul sens**.

Le **sens du transfert thermique** ne peut se faire que d'un milieu qui a la température la plus élevée (la source chaude) vers un milieu qui a la température la plus faible (la source froide) (FIG. 8), jusqu'à ce que leurs températures soient égales.



FIG. 7 Le rayonnement du Soleil réchauffe l'atmosphère de la Terre.

EXEMPLE

Un café chaud laissé dans sa tasse va transférer son énergie au milieu environnant et donc se refroidir de façon irréversible.

► Flux thermique

Un transfert thermique peut se faire plus ou moins rapidement. Pour évaluer cette **vitesse de transfert**, on détermine le flux thermique.

Le **flux thermique Φ** correspond au transfert thermique Q qui s'écoule entre deux milieux par unité de temps :

$$\text{flux thermique (W)} \rightarrow \Phi = \frac{Q}{\Delta t} \leftarrow \begin{array}{l} \text{transfert thermique (J)} \\ \text{durée (s)} \end{array}$$

Le flux thermique a les dimensions d'une puissance : on parle d'ailleurs de puissance thermique.

Remarque. Une habitation est bien isolée si les matériaux qui la constituent assurent un faible flux thermique, permettant ainsi de ralentir les transferts thermiques avec l'extérieur.

► Résistance thermique

Quand on coupe le chauffage d'une habitation en hiver, sa température va baisser d'autant plus rapidement que la différence de température entre

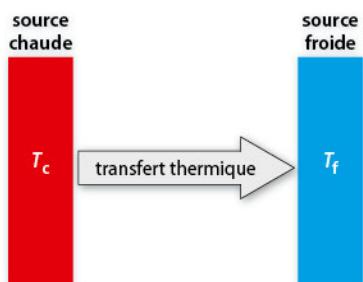


FIG. 8 Le transfert thermique se fait toujours de la source chaude vers la source froide.

l'intérieur et l'extérieur est importante. Cette baisse sera ralentie si les murs sont bien isolés (FIG. 9).

La **résistance thermique R** traduit l'opposition plus ou moins forte du système ou du matériau au flux thermique Φ . Plus elle est élevée, plus le flux thermique sera faible.

Le **flux thermique Φ** est lié à la différence de température ΔT entre les deux milieux pour lesquels le transfert thermique se fait et à la résistance thermique R par la relation :

$$\Phi = \frac{T_c - T_f}{R_{th}}$$

température de la « source chaude » (K) température de la « source froide » (K)
 flux thermique (W) résistance thermique ($K \cdot W^{-1}$)



FIG. 9 On obtient une bonne valeur de résistance thermique quand on isole une habitation.

EXEMPLE

Pour maintenir dans un sauna une température de 70 °C à l'intérieur alors que la température extérieure est de 20 °C, il faut fournir une puissance de 1 500 W. On peut donc déterminer la valeur de la résistance thermique de la

$$\text{cloison dans ce cas : } R_{th} = \frac{\Delta T}{\Phi} = \frac{50}{1500} = 3,3 \times 10^{-2} K \cdot W^{-1}$$

Il existe une relation entre la résistance thermique d'un matériau et ses caractéristiques :

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

résistance thermique ($K \cdot W^{-1}$) épaisseur de la paroi (m)
 conductivité thermique de la paroi ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$) surface de la paroi (m^2)

3 Deux lois thermiques

► Loi de Stefan-Boltzmann

Tout corps de température non nulle perd de l'énergie par rayonnement. La loi de Stefan-Boltzmann définit la relation qui existe entre le flux thermique par unité de surface d'un objet et la température de l'objet considéré comme un « corps noir », objet idéal qui émet sous forme d'un rayonnement toute l'énergie qu'il reçoit.

Loi de Stefan-Boltzmann

$$F = \sigma \cdot T^4$$

flux thermique par unité de surface ($W \cdot m^{-2}$) température du « corps noir » (K)
 $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$

Le flux thermique reçu au sommet de l'atmosphère terrestre par le Soleil par unité de surface perpendiculaire aux rayons solaires (ou constante solaire) est connu. Il vaut en moyenne $F = 1 368 W \cdot m^{-2}$ (FIG. 10).

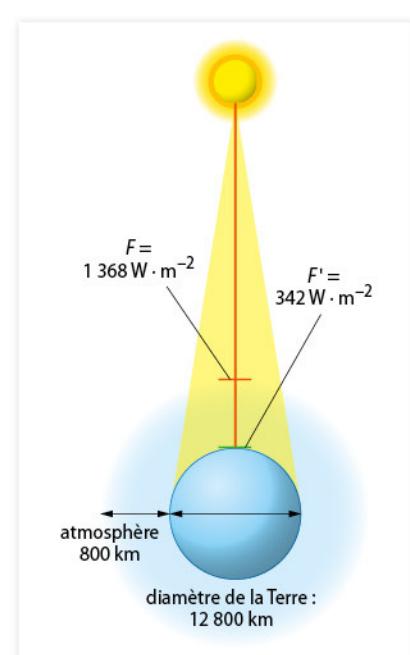
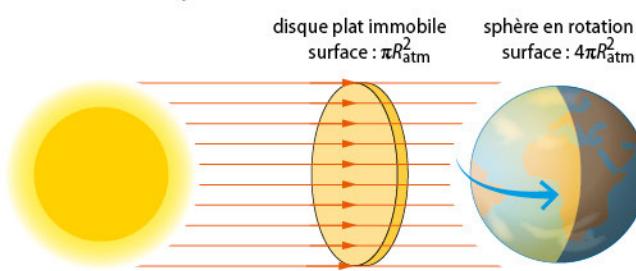


FIG. 10 Flux thermique reçu du Soleil par unité de surface.

Le flux thermique se répartit sur la totalité de la surface de la Terre :

$$\Phi = F \cdot \text{Surface du disque} = F' \cdot \text{Surface de la Terre}$$

$$F \cdot \pi \cdot R_{\text{atm}}^2 = F' \cdot 4 \cdot \pi \cdot R_{\text{atm}}^2 \text{ donc } F' = F/4 = 342 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}.$$

On peut estimer que la température terrestre moyenne est globalement stable et donc dire que le flux thermique reçu du Soleil est égal au flux thermique émis par la Terre : $\Phi_{\text{reçu du Soleil}} = \Phi_{\text{réémis par la Terre}}$

$$\text{Donc : } \sigma \cdot T^4 = F' ; \text{ soit : } T = 279 \text{ K ce qui correspond à } 6^\circ\text{C}.$$

Or la **température moyenne terrestre est de 15 °C**. Cette valeur diffère de sa valeur théorique car la Terre n'est pas un « corps noir » : la Terre réfléchit vers l'espace 30 % de l'énergie qu'elle reçoit (FIG. 11), phénomène caractérisé par l'albédo.

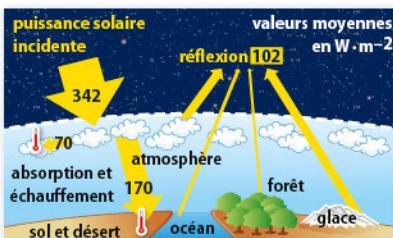


FIG. 11 Environ 70 % du flux thermique reçu est absorbé.

L'albédo correspond à la proportion de l'énergie reçue par la Terre qui est réfléchie et n'est donc pas absorbée. La **Terre et son atmosphère présentent un albédo A = 0,30**.

Les gaz de l'atmosphère absorbent environ 20 % du rayonnement émis par le sol (FIG. 12) conduisant à l'effet de serre.

L'effet de serre est un phénomène naturel de réchauffement d'une planète, provoqué par des gaz de son atmosphère qui absorbent une partie du rayonnement infrarouge émis par le sol.

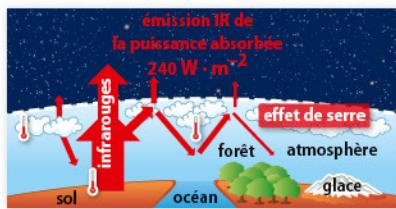


FIG. 12 Le flux thermique absorbé alimente l'effet de serre.

► Loi thermique de Newton

Un **thermostat** est un objet dont la température reste constante.

Le milieu extérieur peut souvent jouer le rôle de thermostat pour un système étudié.

Newton avait remarqué qu'un objet se refroidissait d'autant plus rapidement que l'écart de température entre ce corps et l'extérieur était importante.

La **loi de Newton** indique que le taux de variation de température d'un système, incompressible et échangeant de l'énergie par un transfert thermique, est proportionnel à la différence entre la température du corps T et celle extérieure qui joue le rôle de thermostat T_{th} :

$$\frac{dT}{dt} = -\gamma \cdot (T - T_{\text{th}})$$

taux de variation de la température du système ($\text{K} \cdot \text{s}^{-1}$) constante (s^{-1})
 température du thermostat (K) température du système (K)

La loi de Newton est une équation différentielle linéaire du premier ordre à coefficients constants avec second membre constant du type :

$$y' = a \cdot y + b$$

La résolution de ce type d'équation différentielle est la suivante :

$$y(x) = A \cdot e^{ax} + B$$

On en déduit que :

$$T(t) = A \cdot e^{-\gamma t} + B$$

Quand t tend vers l'infini, $T = T_{\text{th}}$ donc $B = T_{\text{th}}$

À $t = 0 \text{ s}$, $T = T_0$ donc $T_0 = A + T_{\text{th}}$ donc $A = T_0 - T_{\text{th}}$

Donc :

$$T(t) = (T_0 - T_{\text{th}}) \cdot e^{-\gamma t} + T_{\text{th}}$$

L'évolution de la température se traduit par une fonction exponentielle décroissante qui tend vers la température du thermostat T_{th} (FIG. 13).

UN PONT VERS LES MATHS

Une équation différentielle de la forme $u' + ku = K$ (ou $du/dt + ku = K$) admet pour solution la fonction

$$u(t) = U_0 e^{-kt} + u_{\text{lim}}$$

La constante U_0 est déterminée grâce aux conditions initiales ($u(0) = U_0 + u_{\text{lim}}$).

La constante u_{lim} est la valeur de $u(t)$ quand t tend vers l'infini.

➔ Fiche MATHS p. 533

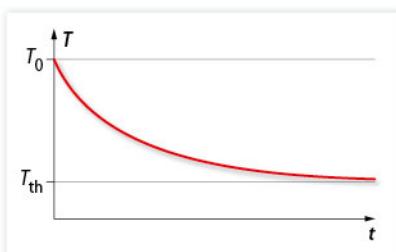


FIG. 13 Évolution de la température en fonction du temps d'un système au contact d'un thermostat.

1 Premier principe de la thermodynamique

Énergie interne d'un système

$$\text{énergie interne (J)} \rightarrow U = E_{\text{cmicro}} + E_{\text{ppmicro}}$$

énergies cinétiques microscopiques (J)
énergies potentielles microscopiques (J)

Énergie totale d'un système

$$\text{énergie totale (J)} \rightarrow E_{\text{tot}} = E_c + E_{\text{pp}} + U$$

énergie cinétique (J)
énergie interne (J)
énergie potentielle de pesanteur (J)

système au repos $\Delta E_{\text{tot}} = \Delta U$

Premier principe de la thermodynamique

$$\text{variation énergie interne du système (J)} \rightarrow \Delta U = W + Q$$

travail (J) \downarrow
transfert thermique (J) \uparrow

Dans le cas d'un système incompressible :

$$\Delta U = Q$$

2 Transferts et flux thermiques

Transfert thermique

$$\text{transfert thermique (J)} \rightarrow Q = C \cdot \Delta T$$

\uparrow variation de température du système (K)
 \uparrow capacité thermique du système ($J \cdot K^{-1}$)
 \uparrow masse (kg) \uparrow capacité thermique massique ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$)

Flux thermique

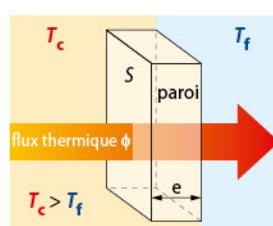
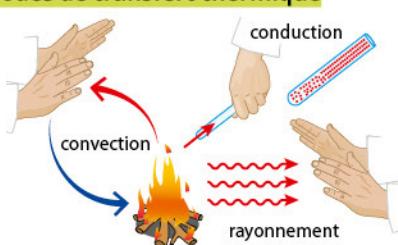
$$\text{flux thermique (W)} \rightarrow \Phi = \frac{Q}{\Delta t}$$

\downarrow transfert thermique (J)
 \uparrow durée du transfert (s)

$\Phi = \frac{T_C - T_f}{R_{\text{th}}}$

T_C température de la « source chaude » (K)
 T_f température de la « source froide » (K)
 R_{th} résistance thermique du système ($K \cdot W^{-1}$)

Modes de transfert thermique



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

\downarrow épaisseur de la paroi (m)
 \uparrow conductivité thermique de la paroi ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)
 \uparrow surface de la paroi (m^2)

3 Deux lois thermiques

Loi de Stefan-Boltzmann

$$\text{flux thermique par unité de surface (W} \cdot m^{-2}\text{)} \rightarrow F = \sigma \cdot T^4$$

\uparrow température du « corps noir » (K)
 $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$

Température moyenne terrestre théorique

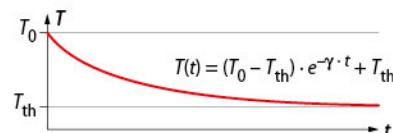
$$T_{\text{terrestre moyen théorique}} = 15^\circ C$$

$F_{\text{reçu du Soleil}} = 342 W \cdot m^{-2}$
 $T_{\text{terrestre moyen théorique}} = 6^\circ C$
albédo terrestre de 0,3 effet de serre

Loi thermique de Newton

$$\text{taux de variation de la température du système (K} \cdot s^{-1}\text{)} \rightarrow \frac{dT}{dt} = -\gamma \cdot (T - T_{\text{th}})$$

\downarrow température du thermostat (K)
 \uparrow température du système (K)



EXERCICES

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

- Qu'appelle-t-on l'énergie interne d'un système ?
- Citer les différentes contributions microscopiques de l'énergie interne d'un système.
- Comment expliquer l'existence d'énergies cinétiques microscopiques ?
- À quelle grandeur macroscopique associe-t-on ces énergies cinétiques microscopiques ?
- Comment expliquer l'existence d'énergies potentielles d'interaction microscopiques ?
- 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.

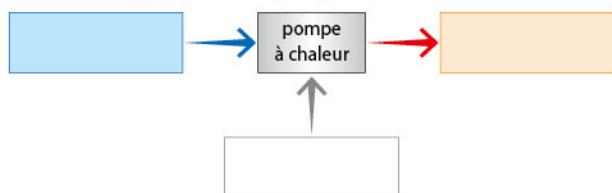
- Effectuer l'étude énergétique du système (chocolat) en s'appuyant sur un diagramme énergétique.
- a.** Écrire le premier principe de la thermodynamique en justifiant que le système est au repos.
- Distinguer le terme correspondant à la variation de l'énergie du système des termes correspondant à des transferts d'énergie entre le système et l'extérieur.
- 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 appliquée 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

EXERCICES

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 $T_1 = 19,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, on coupe le système de chauffage pendant une durée $\Delta t = 1,00\text{ h}$. On mesure une température finale $T_2 = 15,6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

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 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $90\text{ }^{\circ}\text{C}$. On suppose que le four à micro-ondes est bien isolé.

Données : masse volumique de l'eau : $\rho_{eau} = 1,00\text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$; capacité thermique massique de l'eau : $c_{eau} = 4\ 180\text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; 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 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. La température de l'ensemble se stabilise à $52\text{ }^{\circ}\text{C}$. La capacité thermique et la masse volumique du café seront prises égales à celle de l'eau.

Données : capacité thermique massique de l'eau :

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

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

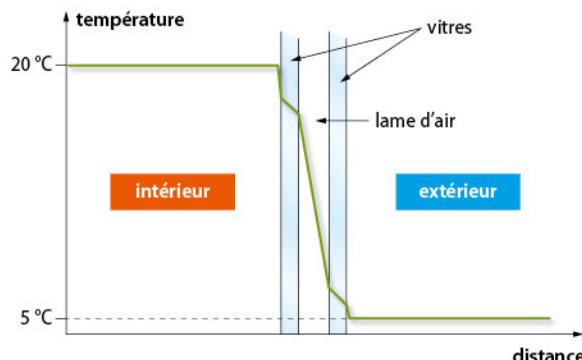
1. Calculer la valeur de la variation d'énergie interne du café.

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 : $\theta_1 = 5,0\text{ }^{\circ}\text{C}$;

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

- 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 $A = 0,30$.

- Quel est l'effet de l'albédo sur le flux thermique reçu du Soleil à la surface de la Terre ?
- 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 ?

- 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 : $T(\text{K}) = 0^\circ\text{C} + 273$

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

- Etablir le bilan d'énergie qui peut permettre d'estimer la température terrestre moyenne.

- Retrouver l'unité de la constante de Boltzmann.
- 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 .
- 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.

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

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

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)

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$$

la résistance thermique R_{th} d'une paroi plane a pour

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

l'épaisseur du matériau (m), λ la conductivité thermique caractérisant le matériau ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) et S la surface de la paroi (m²).

	Surface (m ²)	Matériau	Épaisseur (cm)	Conductivité thermique λ (W · m ⁻¹ · K ⁻¹)
Vitres	15	triple vitrage verre/air	3,6	0,023

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

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

2. a. On sait que $\Phi = Q/\Delta t$ et $\Phi = (T_c - T_f)/R_{th}$

$$\text{On en déduit que } Q_v/\Delta t = (T_i - T_{ext})/R_{th} \text{ donc } Q_v = (T_i - T_{ext}) \cdot \Delta t/R_v \\ \text{AN : } Q_v = (19 - 4) \times 24 \times 3600 / 0,10 = 1,3 \times 10^7 \text{ J} = 13 \text{ MJ.}$$

b. Comme la température intérieure ne varie pas, on a pour la maison : $\Delta U = 0$. Donc l'énergie fournie par les poêles 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 :

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

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 = 10^6 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.

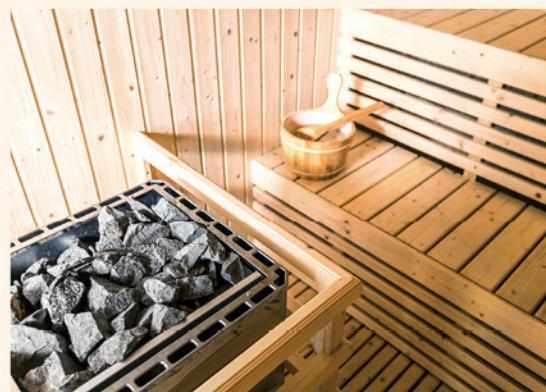
Les personnes se trouvant dans le sauna peuvent, si elles le désirent, arroser ces pierres avec de l'eau qui s'évapore à leur contact.

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°C). Après 10 minutes, leur température est de 80°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°C .

1. a. Établir l'équation différentielle du premier ordre vérifié 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 :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

QUELQUES CONSEILS

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

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°C . A l'heure de cette découverte macabre, la police scientifique relève que la température du corps est de 20°C . Une demi-heure plus tard, quand il est retiré, sa température n'est plus que de 15°C . En utilisant la loi de Newton, le médecin légiste va réussir à déterminer l'heure du crime.

Données : $T(\text{corps humain}) = 37^\circ\text{C}$; 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.
 - a. Quelles sont les transferts thermiques mis en jeu ?
 - b. Où est-il le plus judicieux de placer le tube métallique ?

2. La température à l'intérieur du réfrigérateur est de 4 °C alors que la température extérieure est de 20 °C. La résistance thermique est de 0,89 K · W⁻¹.
 - a. Dans quel sens a lieu le transfert thermique ?
 - b. Déterminer le flux thermique échangé entre le réfrigérateur et l'extérieur.
 - c. 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. $1 \text{ an} = 365,25 \times 24 = 8\,766 \text{ h}$
- Attention à l'unité et aux chiffres significatifs.
- $\Delta U = Q = \Phi / \Delta t = 2 \times 10^{-3} \text{ Wh}$
- Relation à revoir

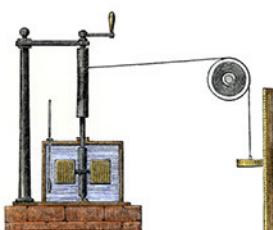
Il y a aussi un autre transfert qui a aussi une conséquence sur la place du tube.
Cours à revoir

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.

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

35 Bouilloire électrique

Une bouilloire électrique, de puissance électrique 1 500 W, porte 0,40 L d'eau initialement à la température de 18 °C à 85 °C en 1 min 20 s.

1. Établir un bilan énergétique, sous forme de schéma, pour la bouilloire.
2. 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 °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 °C. On souhaite une eau à 27 °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 : $\eta = E_{\text{utile}} / E_{\text{dépensée}}$.

1. On étudie le comportement thermique de l'eau de la piscine.

a. Expliquer ce qui se passe au niveau microscopique au niveau de l'eau pendant le fonctionnement de la PAC.

b. Calculer la variation d'énergie interne de l'eau quand l'eau a atteint la température souhaitée.

c. En déduire la valeur du transfert thermique fourni à l'eau par la PAC en explicitant le raisonnement.

2. On étudie la PAC. La variation de l'énergie interne de la PAC est nulle.

a. Identifier la source chaude et la source froide lors du fonctionnement de la PAC.

b. Représenter un diagramme qui traduit le bilan énergétique de la PAC.

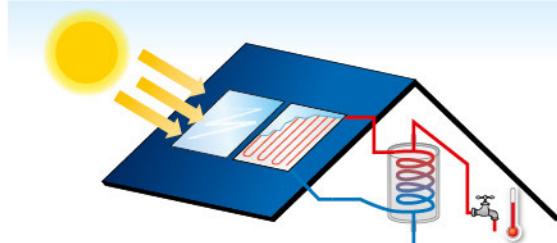
c. Déterminer le coefficient énergétique de la PAC.

d. Quelle énergie électrique W_e' aurait dû fournir un mode de chauffage électrique classique (résistances chauffantes) pour obtenir la même température de l'eau ?

e. 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 $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$;
- $T(K) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273$.

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 $F = 2800 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.



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

1. Dans un premier temps, on ne tient pas compte de l'atmosphère de Vénus.

a. Faire un schéma simplifié du bilan énergétique d'une planète sans atmosphère dans le cas où l'équilibre radiatif est atteint.

b. Calculer la valeur du flux thermique par unité de surface vénusienne. La démonstration s'appuiera sur un schéma.

2. Dans un second temps, on tient compte de l'albédo de Vénus et de son atmosphère.

a. Définir ce qu'on appelle un albédo.

b. Comparer l'albédo de Vénus à celui de la Terre. Comment expliquer cette différence ?

c. Calculer la valeur du flux thermique par unité de surface réellement absorbé par Vénus.

d. Calculer la température moyenne à la surface de Vénus en considérant cette planète comme un corps noir.

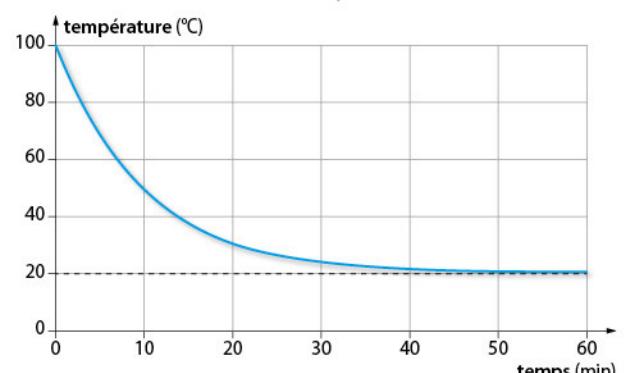
e. La température moyenne à la surface de Vénus est d'environ $450 ^{\circ}\text{C}$. Être critique sur la valeur calculée précédemment et justifier l'écart constaté.

3. 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 :

1. a. Quelle est l'allure de la courbe obtenue ?
- b. Quelle est la valeur de la température ambiante ?



EXERCICES

- 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 ?

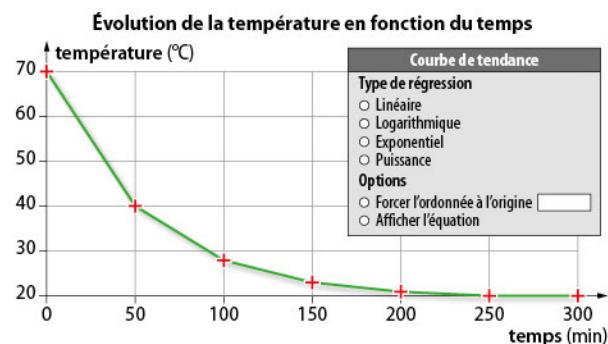
Coups de pouce

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

40 Courbe de tendance TABLEUR-GRAPHIEUR

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 :



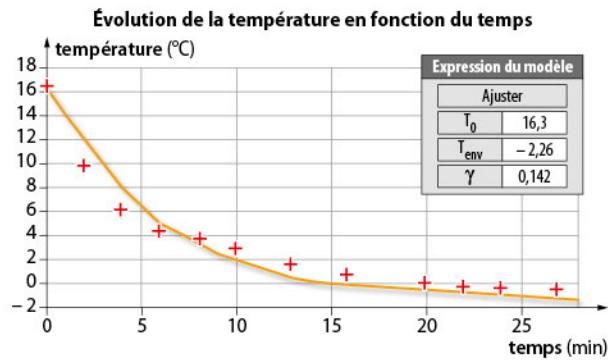
1. a. Quel type de régression faut-il choisir ici ?
- b. Est-il judicieux de forcer ici l'ordonnée à l'origine ? Si oui, par quelle valeur ?
2. Quelle va être l'équation de la courbe de tendance affichée ?

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.

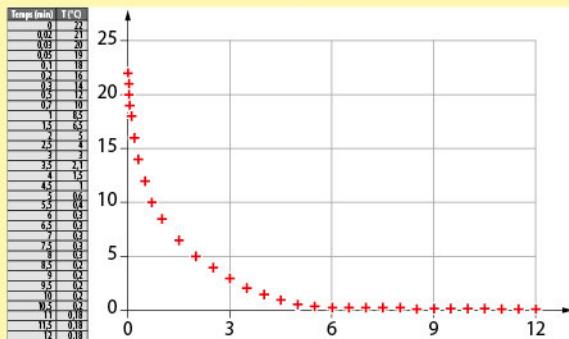
Comment expliquer l'écart entre le modèle retenu et la courbe expérimentale ?



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

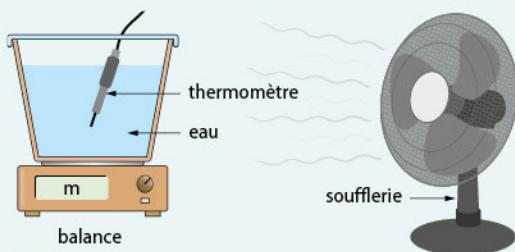


FIG. 1 Dessin de l'expérience.

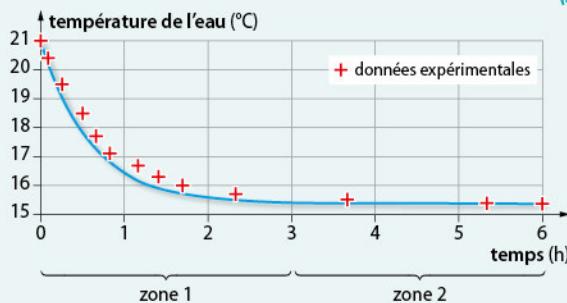


FIG. 2 Évolution de la température de l'eau au cours du temps.

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).

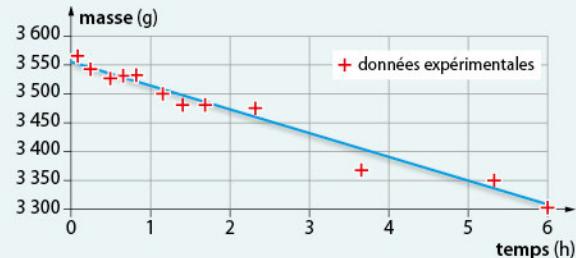
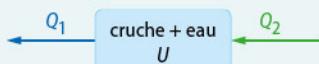


FIG. 3 Évolution de la masse du système (cruche + eau) au cours du temps.

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 RÉSOUTRE

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.

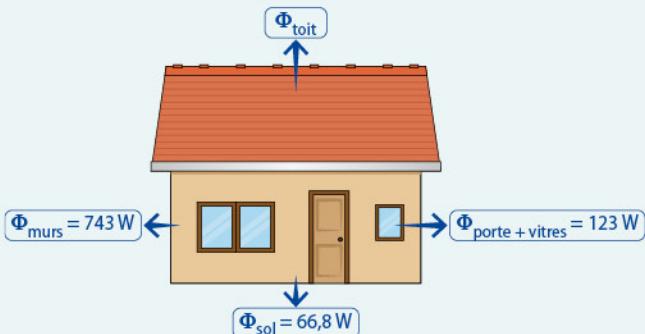
**DOC 2** Caractéristiques thermiques de l'habitation

	Surface (m ²)	Matériau	Épaisseur <i>e</i> (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 $T_e = 4,0^\circ\text{C}$. Pendant la période de chauffage, l'intérieur de la maison est maintenu à une température constante $T_i = 19^\circ\text{C}$ 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 $T_e = 4,0^\circ\text{C}$ et $T_i = 19^\circ\text{C}$ **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 $\Phi_{\text{toit}} = 7,0 \times 10^2 \text{ W}$.

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 RÉSOUTRE

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 cm × 62 cm × 1,1 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 m²) 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 m² 0,05 m² 0,5 m² 5 m²

LE PROBLÈME À RÉSOUTRE

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.

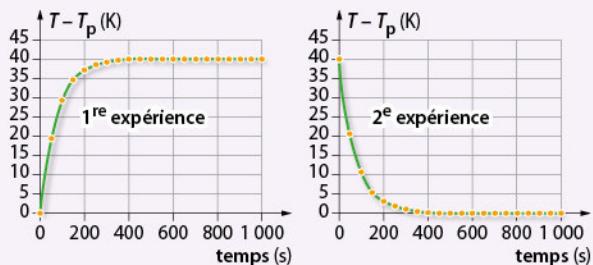
c. En déduire la valeur de α et son unité.

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 $y = -1,33 \times 10^{-2} \times x + 3,68$ (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 ?



Loi thermique de Newton



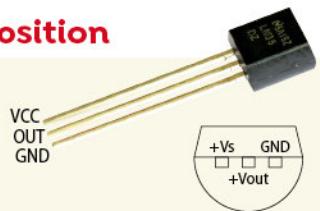
Contexte

L'objectif est d'étudier l'évolution de la température de l'air initialement chauffé.

Documents mis à disposition

Caractéristiques et brochage du capteur LM35

LM35 est un capteur analogique de température, calibré en °C, qui fonctionne avec une tension d'alimentation comprise entre 4 V et 30 V. Le signal de sortie du capteur est proportionnel à la température : une tension de + 10 mV correspond à 1 °C. Il peut mesurer des températures comprises entre - 40 °C et + 110 °C.



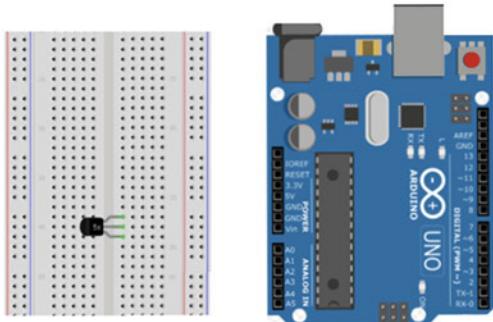
Matériel mis à disposition

- Une calculette type « collège » ou un ordinateur avec fonction « calculatrice »
- Un ordinateur muni de la console Arduino et d'un tableur graphique
- Une carte Arduino et son câble USB
- Un capteur de température LM35
- Une plaque d'essai et des fils pour câbler le montage
- Un sèche-cheveux pour chauffer l'air ambiant

Travail à effectuer

1. (AN/RAI) (RÉA) Proposition de protocole expérimental (30 min conseillées)

- Représenter le câblage à mettre en œuvre pour mesurer la température ambiante à l'aide du capteur de température LM35 et de la carte Arduino reliés à un ordinateur.



```
BORDAS_ECE_Arduino_et_loi_thermique_de_Newton
float volt ; // Définition de la tension
float temp ; // Définition de la température
void setup()
{
    Serial.begin(9600) ;
}
Void loop()
{
    valeur = analogRead(-----); //Mesure du capteur
    sur le port choisi
    tension = 5*valeur/1023 ;//Calcul de la température
    temp = tension/----- ;//Calcul de la température
    Serial.println(temp) ;//Affichage de la température
    Delay(1000) ;//Durée entre deux mesures
}
```

- Compléter le programme fourni.

- Mesurer la température ambiante et donner son incertitude-type.

- À partir des documents et de la liste du matériel disponible, proposer un protocole expérimental permettant de suivre l'évolution de la température de l'air après que celle-ci a été chauffée à 60 °C à l'aide d'un sèche-cheveux.



Être en mesure de présenter le protocole

2. (RÉA) Mise en œuvre du protocole expérimental proposé (20 minutes conseillées)

- Mettre en œuvre le protocole et effectuer l'acquisition de l'évaluation de la température en fonction du temps.
- Modéliser la courbe expérimentale.



Être en mesure de présenter l'acquisition informatisée

3. (VAL) Exploitation du résultat obtenu (10 minutes conseillées)

- Établir le bilan énergétique pour la phase de refroidissement.
- Résoudre l'équation différentielle et donner l'expression de $T(t)$.
- Dire si l'expression obtenue est en accord avec la modélisation expérimentale.
- Identifier une source d'incertitude possible dans les mesures réalisées.

$$\frac{dT}{dt} = -\gamma \cdot (T - T_{th})$$

taux de variation de la température du système ($K \cdot s^{-1}$)

constante (s^{-1})

température du thermostat (K)

température du système (K)

Défaire le montage et ranger la paillasse.

UNE QUESTION

L'effet de serre est-il un avantage ou un inconvénient ?

Enjeu de la question

On parle souvent d'effet de serre à propos du réchauffement climatique. Or ce n'est pas l'effet de serre en lui-même qui pose problème.

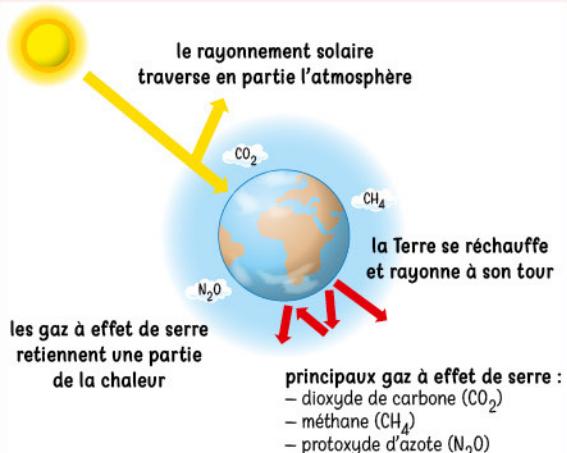
Proposition de plan de présentation

1. Définition de l'effet de serre. Ses causes.
2. Température sur Terre avec et sans effet de serre.
Conclusion : pas de vie sur Terre sans effet de serre.
3. Le bon terme à utiliser : augmentation de l'effet de serre. Ses causes.
4. Conséquences néfastes de cette augmentation.
5. Conclusion : avantage de l'effet de serre, risques de son augmentation.

Les mots-clés

rayonnement infrarouge ➤ réchauffement climatique
➡ dioxyde de carbone ➤ gaz à effet de serre

Exemple de support de présentation



Principe de l'effet de serre

QUESTIONS D'APPROFONDISSEMENT POSSIBLES

La température moyenne de la surface de Terre est de 15 °C. Comment peut-on en déduire le flux émis par la surface de la Terre ?

Comment définir l'effet de serre en terme de flux thermique ?

La température moyenne à la surface de Vénus est de 450 °C. Comment peut-on expliquer cette température différente de celle de la Terre ?

Qu'appelle-on le bilan radiatif d'une planète ?

À propos de l'effet de serre...

Qu'est-ce que l'albédo ?

UN EXEMPLE DE PROJET PROFESSIONNEL

Les métiers relatifs au développement durable sont des métiers d'avenir. La lutte contre les émissions de gaz à effet de serre devient une nécessité. Les énergies renouvelables permettent de réduire ces émissions mais aussi l'autonomie énergétique. C'est un secteur en pleine évolution car il convient d'intégrer constamment de nouvelles technologies.

Après le bac : Bac + 5 : diplôme d'ingénieur ou master du domaine de l'énergie.

Autres métiers : Ingénieur environnement, ingénieur en énergie solaire, technicien thermicien...

L'ingénieur recherche et développement travaille dans des bureaux d'étude d'entreprises ou dans des laboratoires de recherche pour améliorer et inventer des dispositifs utilisant des énergies renouvelables qui respectent les normes environnementales et permettent plus de compétitivité.

