

de limiter les transferts thermiques entre l'intérieur et l'extérieur des bâtiments.

ACTIVITÉS

1. ACTIVITÉ DOCUMENTAIRE

Le microscope à force atomique

Commentaires

Les documents proposés décrivent le principe de fonctionnement d'un microscope à force atomique.

Cette activité permet aux élèves de s'interroger sur l'ordre de grandeur d'un atome. Une interrogation sur les limites de la microscopie optique et la nécessité d'utiliser d'autres techniques pour « visualiser » des atomes y est également suggérée.

Réponses

S'APPROPRIER

1. a. Le système de balayage d'un microscope à force atomique permet le déplacement du support d'un échantillon (ou de la pointe) afin de sonder **toute la surface** d'un échantillon grâce à la pointe qui se soulève plus ou moins suivant la topographie (relief) de l'échantillon, « reproduisant [ainsi] les irrégularités de la surface ».

Le rôle du laser et du photodétecteur est de **déterminer les déplacements (hauteur et position) de la pointe**, ce qui permet à l'ordinateur, couplé avec ce matériel, de reconstituer une image en trois dimensions de la surface de l'échantillon.

b. La **taille de la pointe** est le principal élément qui limite la résolution du microscope à force atomique. Elle doit être la plus effilée possible afin d'être idéalement « un cône se terminant par quelques atomes ».

RÉALISER

2. a. En utilisant l'échelle de l'image du document 2, on constate qu'il s'agit d'un carré de 2,4 nm de côté. Sa surface S est donc égale à :

$$S = 2,4 \times 2,4 = 5,8 \text{ nm}^2 = 5,8 \times 10^{-18} \text{ m}^2.$$

b. On peut compter sur le document 2 environ **130 atomes de tungstène**, chaque atome étant représenté par une bosse. On peut donc en conclure que le nombre n d'atomes de tungstène par m^2 est égal à :

$$n = \frac{130}{5,8 \times 10^{-18} \text{ m}^2} = 2,24 \times 10^{19} \text{ m}^{-2} \text{ soit de l'ordre de}$$

grandeur 10^{19} m^{-2} , c'est à dire qu'il faut 10^{19} atomes

pour couvrir un mètre carré.

c. Si on suppose qu'un atome de tungstène est une sphère de rayon R , on peut considérer qu'un atome occupe la surface $A = \pi R^2$ sur le document 2.

De plus, si en première approximation on suppose que les atomes occupent toute la surface considérée, on peut en conclure que : $n \times A = 1 \text{ m}^2$.

$$\text{Ainsi } n\pi R^2 = 1 \Rightarrow R = \frac{1}{\sqrt{\pi n}}.$$

Un calcul en ordre de grandeur donne $R = 10^{-10} \text{ m}$. Le rayon atomique d'un atome de tungstène est égal à $1,35 \times 10^{-10} \text{ m}$. L'ordre de grandeur est donc correct.

VALIDER

3. L'idée de « voir » des atomes sous-entend de pouvoir faire l'image d'un atome avec de la lumière visible pour l'œil, comme on le fait avec un microscope optique. Or la résolution (taille du plus petit détail observable) avec la lumière est limitée par la diffraction. Comme, dans le visible, la longueur d'onde est comprise entre 10^{-7} et 10^{-6} m (en ordres de grandeur), le plus petit détail observable ne peut être plus petit que 10^{-7} m , soit mille fois plus gros qu'un atome. Construire une image optique d'un atome est donc impossible. D'où l'emploi d'autres techniques pour les appréhender, comme dans le cas du microscope à force atomique.

La **résolution maximale d'un microscope à force atomique** dépend de la taille de sa pointe, idéalement « un cône se terminant par quelques atomes ». Aujourd'hui, la résolution maximale d'un microscope à force atomique est de l'ordre de $10^{-1} \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$, ce qui correspond à la dimension d'un atome.

2. ACTIVITÉ DOCUMENTAIRE

Les étoiles à neutrons

Commentaires

Au travers des documents décrivant les différentes phases de la vie des étoiles supergéantes, cette activité permet d'étudier les ordres de grandeur associés aux phénomènes stellaires spectaculaires qui en découlent.

Réponses

S'APPROPRIER

1. Les valeurs numériques concernant la masse et la taille d'une étoile supergéante dans différentes phases de sa vie sont :

	Masse de l'étoile	Taille de l'étoile
Étoile supergéante	masse supérieure à 8 masses solaires (supérieure à 10^{31} kg)	rayon de l'étoile de l'ordre de 100 rayons solaires (de l'ordre de 10^8 km)
Explosion de l'étoile supergéante : supernova		
Étoile à neutrons	masse de l'ordre de 1,5 masse solaire (de l'ordre de 10^{30} kg)	rayon de l'étoile de l'ordre de 10^1 km

ANALYSER

2. a. L'ordre de grandeur de la taille d'un noyau atomique est 10^{-15} m alors que l'ordre de grandeur de la taille du « noyau » résiduel d'une étoile supergéante, appelé étoile à neutrons, est 10^4 m . Le « noyau » résiduel est donc **10^{19} fois plus grand** qu'un noyau atomique (soit 10 milliards de milliards de fois plus grand).

b. La masse d'un neutron est égale à $1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$. Son ordre de grandeur est donc 10^{-27} kg . Celle d'une étoile à neutrons est de 10^{30} kg .

RÉALISER

3. a. Le rapport des deux nombres précédents permet d'évaluer le nombre N de neutrons dans l'étoile :

$$N = \frac{10^{30}}{10^{-27}} = 10^{57}. \text{ Ce nombre est gigantesque.}$$

b. L'ordre de grandeur V du volume d'une étoile à neutrons, considérée comme sphérique et de rayon R ,

$$\text{est égal à } V = \frac{4}{3} \pi R^3 \approx 10^{12} \text{ m}^3.$$

La masse volumique donne donc en ordre de grandeur :

$$\rho = \frac{m}{V} \approx \frac{10^{30}}{10^{12}} = 10^{18} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}.$$

La masse volumique de l'eau valant $\rho_{\text{eau}} = 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

$$D'où la densité $d = \frac{\rho}{\rho_{\text{eau}}} \approx \frac{10^{18}}{10^3} \approx 10^{15}$.$$

D'après la dernière phrase du texte, cette densité extraordinaire « équivaut au volume d'une cuillère à café ayant pour masse plusieurs centaines de millions de tonnes ». Une cuillère à café pouvant accueillir environ $V_{\text{cuillère}} = 5 \text{ mL} = 5 \text{ cm}^3 = 5 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ si on y place une masse d'une centaine de millions de tonnes (10^{11} kg), la masse volumique vaudra $\rho = \frac{m}{V_{\text{cuillère}}} = \frac{10^{11} \text{ kg}}{5 \times 10^{-6} \text{ m}^3} = 10^{18} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ et l'ordre de grandeur de la densité 10^{15} .

VALIDER

4. Les densités calculées dans la question précédente montrent la cohérence des phrases du document.

3. DÉMARCHE D'INVESTIGATION

Détermination de la capacité thermique massique de l'eau

Pour cette démarche d'investigation, se reporter aux fiches-guides élève et professeur sur le site : sirius.nathan.fr/sirius2017

4. ACTIVITÉ DOCUMENTAIRE

L'effet de serre

Commentaires

Les documents de cette activité documentaire présentent le phénomène de l'effet de serre sur Terre et ils décrivent plus précisément un bilan de puissances simplifié associé à l'effet de serre. L'étude de ces documents permet de réaliser notamment les bilans énergétiques de trois systèmes différents : la Terre, son atmosphère et l'espace. Enfin, la dernière question demande une recherche documentaire sur l'influence des différents gaz à effet de serre et sur leur réduction nécessaire dans l'atmosphère.

Réponses

S'APPROPRIER

1. a. Deux types de transfert d'énergie sont décrits dans le document 1 : le **rayonnement** et la **convection**.

b. Les rayonnements concernés par les échanges d'énergie avec l'atmosphère sont les rayonnements **infrarouges**.

RÉALISER

2. a. D'après le document 2, la puissance surfacique du rayonnement reçu par la Terre vaut :

$$\mathcal{P}_1 = 160 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Et la puissance surfacique que recevrait la Terre en l'absence d'atmosphère est égale à :

$$\mathcal{P}_2 = 160 + 80 + 100 = 340 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Le rapport entre ces deux puissances est égal à :

$$\frac{\mathcal{P}_1}{\mathcal{P}_2} = \frac{160}{340} = 47,1 \%$$

Cela correspond aux informations données dans le document 1 : « environ 50 % du rayonnement solaire traverse l'atmosphère terrestre et parvient jusqu'à la surface de la Terre ».

b. Schéma représentant les transferts d'énergie entre la Terre et les deux autres systèmes (l'atmosphère et l'espace), les valeurs numériques sont des puissances surfaciques en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$:

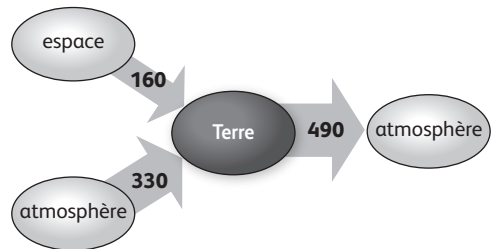


Schéma représentant les transferts d'énergie entre l'atmosphère et les deux autres systèmes (la Terre et l'espace), les valeurs numériques sont des puissances surfaciques en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$:

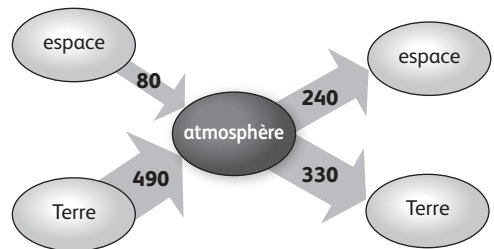
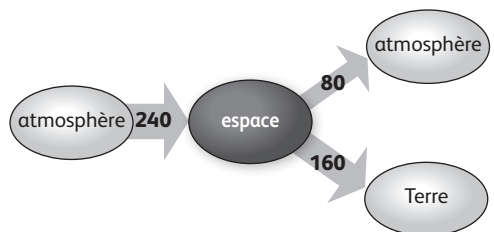


Schéma représentant les transferts d'énergie entre l'espace et les deux autres systèmes (la Terre et l'atmosphère), les valeurs numériques sont des puissances surfaciques en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$:

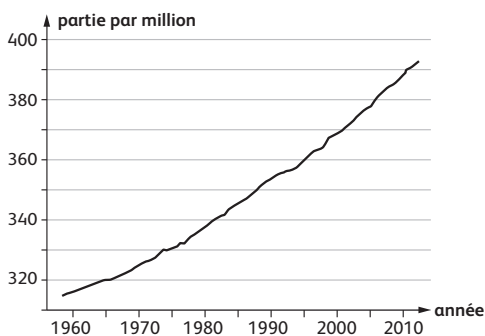


c. Pour chaque système, la somme des transferts d'énergie (ou de puissances surfaciques) émis est bien **égale** à la somme des transferts d'énergie (ou de puissances surfaciques) reçus.

COMMUNIQUER

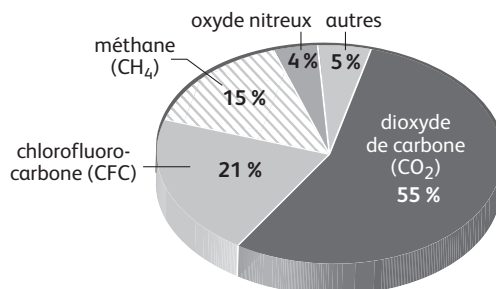
3. a. L'effet de serre n'est pas un phénomène récent. Il n'est pas du tout néfaste à la vie sur Terre : il est même indispensable à la survie de la plupart des espèces vivant sur Terre car, sans effet de serre, la température moyenne à la surface de la Terre serait de -18°C .

b. Les gaz à effet de serre cités dans le document 1 sont :
 – **la vapeur d'eau H_2O** , qui est le principal gaz à effet de serre naturel. Elle joue un rôle complexe dans le réchauffement climatique car son cycle et ses réponses sont très rapides (quelques semaines au plus) en fonction des conditions météorologiques, contrairement aux autres gaz à effet de serre dont la durée de vie et l'inertie sont beaucoup plus importantes. Les activités humaines influencent peu sa concentration dans l'atmosphère. C'est la température de l'atmosphère qui détermine sa présence. Ainsi, en réchauffant l'atmosphère, nos activités pourraient indirectement augmenter la quantité de vapeur d'eau dans l'air, augmentant d'autant plus l'effet de serre : on appelle ceci une **rétroaction positive**.
 – **le dioxyde de carbone CO_2** , qui représente environ 55 % du pouvoir radiatif global des gaz à effet de serre. Ce gaz a contribué à l'augmentation de l'effet de serre à hauteur de 90 % en 5 ans (données de 2008). Il provient principalement des émissions des combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz) Il est également issu de certains procédés industriels, de la déforestation et de l'agriculture intensive. Les secteurs les plus émetteurs sont l'industrie, la production énergétique et les transports. La consommation des ménages (cuisson, chauffage, électricité) contribue aussi significativement aux émissions de dioxyde de carbone. Le dioxyde de carbone est également émis par l'activité naturelle de notre planète : éruptions volcaniques, respiration des plantes et des animaux.
 Remarque: les concentrations en dioxyde de carbone ont été comprises entre 190 ppm (ères glaciaires) et 300 ppm (périodes chaudes). Les mesures effectuées à l'observatoire de Mauna Loa (Hawaï) et l'étude des bulles d'air emprisonnées dans les calottes polaires, montrent que la concentration est passée d'environ 280 ppm dans les années 1850 (début de la civilisation industrielle) à plus de 387 ppm en 2009 : le taux de dioxyde de carbone atmosphérique est plus élevé aujourd'hui qu'il ne l'a jamais été au cours des deux derniers millions d'années. À titre de comparaison, il avait fallu plus de 5 000 ans pour que la concentration en dioxyde de carbone augmente de seulement 80 ppm à la fin du dernier âge glaciaire (Grouped'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat GIEC, 2007). Notons qu'il existe une oscillation annuelle normale des concentrations de dioxyde de carbone qui s'explique par le cycle végétatif.



Concentrations moyennes mensuelles du CO_2 relevées à l'observatoire de Mauna Loa – Hawaï © NOAA ; 04/2012.

– **le méthane CH_4** , **l'ozone O_3** , **les oxydes d'azote** (appelés aussi oxydes nitreux). Avec le dioxyde de carbone et les CFC, ce sont les autres principaux gaz qui contribuent à l'effet de serre.



Part des différents gaz à effet de serre : dans l'effet de serre additionnel ou d'origine anthropique, le dioxyde de carbone contribue majoritairement à l'effet de serre. Source : d'après GIEC 2001.

Ainsi, la limitation des gaz à effet de serre est aujourd'hui une des priorités mondiales car l'augmentation trop rapide de ces gaz dans l'atmosphère entraîne une hausse brutale de la température moyenne sur Terre qui bouleverse les écosystèmes existants et qui va entraîner la migration d'une grande partie de la population humaine.

EXERCICES Appliquer le cours

■ Du microscopique au macroscopique (§1 du cours)

14. Visualiser des entités microscopiques

- Microscope à effet tunnel.
- Microscope à force atomique.

15. Évaluer des ordres de grandeurs

Le nombre d'entités dans 200 g de paraffine est :

$$N = \frac{m \times N_A}{M} = \frac{200 \times 6,02 \times 10^{23}}{320} = 3,76 \times 10^{23}$$

L'ordre de grandeur est 10^{23} entités.

Le nombre d'entités dans 2 L d'eau liquide est :

$$N = \frac{\rho \times V \times N_A}{M} = \frac{1,0 \times 2 \times 10^3 \times 6,02 \times 10^{23}}{18} = 6,7 \times 10^{25}$$

L'ordre de grandeur est 10^{26} entités.

■ Énergie interne d'un système (§2 du cours)

16. Utiliser ses connaissances

- Le type de transfert thermique prédominant dans le cuivre métallique est la conduction.
- En prenant garde à la concordance des unités, la variation d'énergie interne du morceau de cuivre est égale à :
 $\Delta^0 U = m \times c_m \times (T_c - T_a) = 0,450 \times 386 \times 70 = 1,2 \times 10^4 \text{ J}$

17. Comparer un résultat

a. Pour chauffer l'eau du bain de 15 °C à 37 °C, il faut lui apporter un transfert thermique égal à sa variation d'énergie interne.

On tient compte de la conversion :

$$1 \text{ m}^3 = (1 \text{ m})^3 = (10 \text{ dm})^3 = 10^3 \text{ dm}^3 = 10^3 \text{ L pour déduire } m = 200 \text{ kg.}$$

On applique la relation adaptée aux systèmes condensés pour en déduire :

$$Q = \Delta \mathcal{U} = m \times c_{\text{eau}} \times \Delta T = 200 \times 4180 \times 22 = 1,8 \times 10^7 \text{ J.}$$

b. La température de l'eau a augmenté donc l'énergie interne aussi : l'agitation des molécules d'eau augmente tout comme leur énergie cinétique.

c. L'énergie délivrée par une ampoule est égale à :

$\mathcal{E} = \mathcal{P} \times \Delta t$. Ainsi une ampoule peut briller avec une telle énergie pendant une durée égale à :

$$\Delta t = \frac{\mathcal{E}}{\mathcal{P}} = \frac{1,8 \times 10^7}{60} = 3,0 \times 10^5 \text{ s} = 3,5 \text{ jours.}$$

Conclusion : pour faire des économies d'énergie, il faut éteindre les éclairages non nécessaires, mais il est encore plus important de limiter le nombre de bain et de chauffer moins d'eau !

I Transferts thermiques (§3 du cours)

18. Interpréter des transferts thermiques

a. Les deux systèmes sont : {radiateur} et {air de la chambre}.

b. Le transfert thermique se fait essentiellement par convection au sein de l'air. L'énergie dissipée par le radiateur peut avoir pour origine la conduction s'il est électrique.

c. Le transfert thermique se fait spontanément de la partie la plus chaude à la partie la plus froide, soit du {radiateur} vers l'air de la chambre}.

19. Effectuer un raisonnement scientifique

Rosa a raison, les glaçons vont se réchauffer moins vite si on les met dans une écharpe en laine qui joue le rôle d'isolant thermique : en effet, la résistance thermique élevée de l'écharpe en laine permet de diminuer le flux thermique entre l'air et les glaçons et donc d'augmenter la durée de fonte de ces glaçons.

I Flux thermiques et bilan d'énergie (§4 du cours)

20. Exploiter la relation du flux thermique

a. On applique la formule pour le verre :

$$\Phi = \frac{\lambda \times S}{e} \times \Delta T = \frac{1,2 \times 2,0}{5,0 \times 10^{-3}} \times 20 = 9,5 \times 10^3 \text{ W}$$

b. Le même calcul pour le béton donne :

$$\Phi = \frac{\lambda \times S}{e} \times \Delta T = \frac{1,4 \times 20}{2,0 \times 10^{-2}} \times 20 = 2,8 \times 10^4 \text{ W}$$

21. Effectuer un bilan énergétique

a. Un système fermé est un système n'échange pas de matière avec l'extérieur. Ce système est condensé si la matière étudiée est liquide ou solide.

b. La variation de l'énergie totale d'un système $\Delta \mathcal{E} = \Delta \mathcal{E}_m + \Delta \mathcal{U}$ est égale à la somme des travaux échangés avec l'extérieur autres que ceux des forces conservatives \mathcal{W} et du transfert thermique Q échangé avec le milieu extérieur :

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta \mathcal{E}_m + \Delta \mathcal{U} = Q + \mathcal{W}$$

avec toutes les grandeurs exprimées en joules (J).

c. La variation d'énergie interne de ce système est égale à :

$$\Delta \mathcal{U} = m \times c \times \Delta T$$

De plus, si on considère que ce système est immobile :

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta \mathcal{U} = Q + \mathcal{W}$$

d. Si le système est fermé :

$$\Delta \mathcal{U} = Q + \mathcal{W} = 0$$

Alors pour un système condensé, on en déduit :

$$\Delta T = \frac{\Delta \mathcal{U}}{m \times c} = 0$$

Si le système n'échange plus d'énergie, ni par transfert thermique, ni par travail des forces non conservatives avec l'extérieur, sa température est constante. Le système est à l'équilibre thermique.

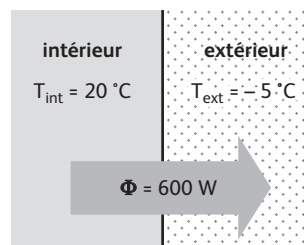
EXERCICES S'entraîner

22. Exercice résolu dans le manuel

23. Application de l'exercice résolu

1.

schéma de la situation



2. On calcule la résistance thermique :

$$R_{\text{th}} = \frac{\Delta T}{\Phi} = \frac{20 - (-5)}{600} = 4,2 \times 10^{-2} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$$

24. Exercice résolu dans le manuel

25. Application de l'exercice résolu

1. On isole \mathcal{W}_e dans la formule de l'énoncé :

$$\mathcal{W}_e = Q_c - Q_f = 13,9 - 11,8 = 2,1 \text{ kJ.}$$

2. Pour un réfrigérateur, afin de mieux refroidir l'intérieur, on veut optimiser le transfert thermique issu de la source froide Q_f . L'énergie électrique consommée est \mathcal{W}_e . On en déduit le coefficient de performance :

$$\eta = \frac{Q_f}{\mathcal{W}_e} = \frac{11,8}{2,1} = 5,6.$$

Encore une fois, ce coefficient est supérieur à 1.

26. Apprendre à rédiger

> COMPÉTENCES : Connaître, s'approprier, analyser, réaliser, valider.

a. Si on ne tient pas compte des frottements, l'énergie totale du système {bille} est conservée: $\mathcal{E}_i = \mathcal{E}_f$ et son énergie interne \mathcal{U} est constante au cours du temps, par conséquent \mathcal{E}_m aussi.

Comme $\mathcal{E}_{mi} = \mathcal{E}_{ci} + \mathcal{E}_{ppi} = \frac{1}{2}mv_0^2$ (car la bille est à une altitude nulle à l'instant initial) et $\mathcal{E}_{mf} = \mathcal{E}_{cf} mgh_0$ (car la vitesse de la bille est nulle lorsque la bille a atteint son altitude maximale), on trouve que :

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = mgh_0 \Rightarrow h_0 = \frac{v_0^2}{2g}$$

Remarque : en négligeant les frottements, on peut directement affirmer que l'énergie mécanique du système $\mathcal{E}_m = \mathcal{E}_c + \mathcal{E}_{pp}$ est conservée.

b. Si on tient compte des frottements, l'énergie totale du système {bille} n'est pas conservée: $\mathcal{E}_i > \mathcal{E}_f$ et son énergie interne \mathcal{U} varie au cours du temps car une partie de l'énergie mécanique perdue se dissipe dans l'air ambiant et l'autre partie chauffe la bille. Pour cette exercice, on suppose que ces deux pertes se font à part égale. La variation d'énergie mécanique est égale au travail des forces de frottements. Ce travail est à l'origine de la perte d'altitude, on trouve donc :

$$W(\vec{f}_{\text{frottements}}) = \Delta\mathcal{E}_m = mg(h_0 - h)$$

D'après la modélisation choisie, la moitié de cette énergie mécanique perdue sert au réchauffement de la bille,

d'où: $\Delta\mathcal{U} = \frac{mg(h_0 - h)}{2}$. Comme la bille est un système

condensée, on sait également que $\Delta\mathcal{U} = m \times c \times \Delta T$. On en déduit :

$$m \times c \times \Delta T = \frac{mg(h_0 - h)}{2} \Rightarrow \Delta T = \frac{g(h_0 - h)}{2c}$$

c. En effectuant les applications numériques, et en prenant garde aux unités, on trouve que :

$$h_0 = \frac{v_0^2}{2g} = \frac{10^2}{2 \times 9,81} = 5,1 \text{ m et } \Delta T = \frac{g(h_0 - h)}{2c} = 1,2 \times 10^{-3} \text{ K}$$

ce qui est insignifiant.

27. S'auto-évaluer

- Le système total est {Aluminium + Fer + Eau}. Ce système est calorifugé.

- Les échanges thermiques se font des sous-systèmes de température plus élevée vers ceux de température plus basse soit : un transfert Q_1 de l'aluminium et du fer vers l'eau, et un transfert Q_2 de l'aluminium vers le fer.

- Comme le système est calorifugé, on sait que sa variation d'énergie interne est nulle et qu'il va évoluer vers la température finale T_f .

- Comme tous les sous-systèmes sont condensés, on peut écrire :

$$\Delta\mathcal{U}_{\text{total}} = m_{\text{alu}} \times c_{\text{alu}} \times (T_f - T_1) + m_{\text{fer}} \times c_{\text{fer}} \times (T_f - T_2) + m_{\text{eau}} \times c_{\text{eau}} \times (T_f - T_3) = 0$$

d'où :

$$T_f = \frac{m_{\text{alu}} \times c_{\text{alu}} \times T_1 + m_{\text{fer}} \times c_{\text{fer}} \times T_2 + m_{\text{eau}} \times c_{\text{eau}} \times T_3}{m_{\text{alu}} \times c_{\text{alu}} + m_{\text{fer}} \times c_{\text{fer}} + m_{\text{eau}} \times c_{\text{eau}}} = 33^\circ\text{C}$$

On en déduit :

$$Q_1 = \Delta\mathcal{U}_{\text{eau}} = m_{\text{eau}} \times c_{\text{eau}} \times (T_f - T_3) = 15 \text{ kJ}$$

et

$$Q_2 = \Delta\mathcal{U}_{\text{fer}} = m_{\text{fer}} \times c_{\text{fer}} \times (T_f - T_2) = 1,7 \cdot 10^{-1} \text{ kJ}$$

28. Radiateur et transfert thermique

> COMPÉTENCES : Connaître, réaliser.

a. On calcule la variation d'énergie interne en notant que la capacité thermique du radiateur n'est pas massique mais totale. On obtient :

$$\Delta\mathcal{U} = (\rho_{\text{eau}} \times V \times c_{\text{eau}} + C_{\text{radiateur}}) \times (\theta_2 - \theta_1) = (15 \times 4,18 \times 10^3 + 2,63 \times 10^4) \times (23 - 18) = 4,45 \times 10^5 \text{ J}$$

b. Le bilan de transfert thermique nous amène à écrire :

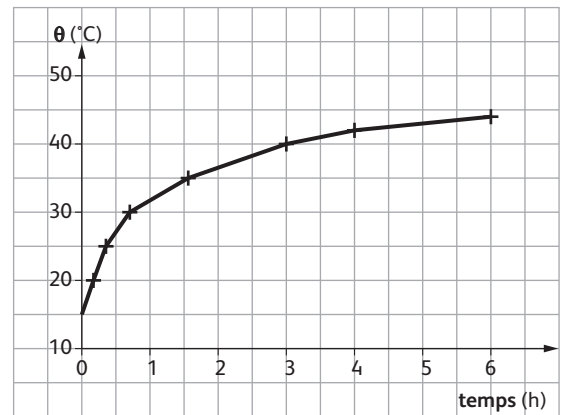
$$P \times \Delta t = Q = \Delta\mathcal{U} \text{ d'où } \Delta t = \frac{\Delta\mathcal{U}}{P} = 2,5 \times 10^2 \text{ s soit environ 4 minutes et 10 secondes.}$$

29. Douche solaire

> COMPÉTENCES : Connaître, s'approprier, réaliser, analyser.

1. a. Transfert thermique par rayonnement (électro-magnétique).

b. Évolution de la température en fonction du temps



2. a. La température de l'eau lors de la mise en fonctionnement est 15°C. Celle au bout de 5h30 est de 43°C, elle est déterminée par lecture graphique.

b. On utilise: $\Delta\mathcal{U} = m \times c \times \Delta T$.

$$A. N.: \Delta\mathcal{U} = 20 \times 4,18 \times (43 - 15) = 2,3 \times 10^3 \text{ kJ.}$$

30. ★ In English Please

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, réaliser, valider.

1. La conservation de l'énergie mécanique permet d'affirmer que la variation d'énergie potentielle au cours de la chute correspond exactement à l'augmentation de l'énergie cinétique du sucre, soit $\Delta\mathcal{E}_c = -\Delta\mathcal{E}_{pp} = mgh$.

L'énergie cinétique initiale étant nulle, on en déduit qu'à la surface du café, l'énergie cinétique vaut :

$$\mathcal{E}_c = \frac{1}{2}mv^2 = mgh.$$

2. a. Comme l'énergie cinétique est supposée être transférée thermiquement intégralement au sucre, sous forme d'énergie interne, on en déduit :

$$\Delta u_{\text{sugar}} = m_{\text{sugar}} \times c_{\text{sugar}} \times \Delta T = mgh$$

b. Pour que le sucre ne refroidisse pas le café, il doit atteindre la même température que celui-ci lors de l'impact, soit 50 °C, soit dans notre cadre d'hypothèses :

$$h = \frac{c_{\text{sugar}} \times \Delta T}{g} \text{ soit après application numérique, en prenant garde aux unités : } h = 1,5 \text{ km.}$$

c. Ce résultat montre que ça serait absurde de procéder ainsi. Il apparaît difficile de viser correctement la tasse de cette hauteur.

On a par ailleurs négligé les frottements sur le sucre (critique de la conservation de l'énergie mécanique dans première phase) et le choc avec le café génère un transfert d'énergie cinétique au fluide café mis en mouvement. Celui-ci est éjecté de la tasse.

31. ★ Résistance thermique

> COMPÉTENCES : Connaître, réaliser, analyser.

a. De la même manière que la résistance $R_{\text{élec}}$ d'un conducteur ohmique permet de relier la tension (différence de potentiel) à l'intensité du courant le traversant par la loi d'Ohm $U = R_{\text{élec}} \times I$, la résistance thermique R_{th} entre deux points permet de relier la différence de température au flux thermique par la relation $\Delta T = R_{\text{th}} \times \Phi$.

b. En interprétant les données de l'énoncé, on trouve :

$$R_{\text{élec}} = \frac{e}{\lambda S}.$$

c. La résistance thermique R_{th} entre deux points permet de relier la différence de température au flux thermique par la relation $\Delta T = R_{\text{th}} \times \Phi$.

$$\text{Par analogie : } R_{\text{th}} = \frac{e}{\lambda S}.$$

Attention, ici $e = L$.

d. La résistance thermique vaut $R_{\text{th}} = 6,6 \times 10^{-5} \Omega$. La résistance thermique vaut $R_{\text{élec}} = 10 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$.

e. Le flux thermique est donné par la relation

$$\Phi = \frac{\Delta T}{R_{\text{th}}} = \frac{80}{(10)} = 7,6 \text{ si on calcule avec les valeurs non-arrondies.}$$

32. ★ Utilisation d'un calorimètre

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, réaliser, valider.

a. Les différents systèmes en contact sont : {la masse d'eau froide}, {la masse d'eau chaude} et {le calorimètre}.

b. Avant le mélange, le calorimètre et la masse d'eau froide sont à la même température $\theta_1 = 10^\circ\text{C}$. Après le mélange, la température de l'ensemble évolue vers une valeur unique $\theta_f = 30^\circ\text{C}$.

c. La variation d'énergie interne de l'ensemble est nulle puisqu'il n'y a aucun échange avec l'extérieur, soit $\Delta u(\text{ensemble}) = 0$.

$$\text{d. } \Delta u(\text{ensemble}) = 0 = \Delta u(\text{eau froide}) + \Delta u(\text{eau chaude}) + \Delta u(\text{calorimètre})$$

Comme l'eau est toujours liquide, on en déduit :

$$\Delta u(\text{ensemble}) = 0 = m_1 \times c_{\text{eau}} \times (\theta_f - \theta_1) +$$

$$C_{\text{calo}} \times (\theta_f - \theta_1) + m_2 \times c_{\text{eau}} \times (\theta_f - \theta_2).$$

On en déduit :

$$C_{\text{calo}} = m_1 \times c_{\text{eau}} \times \left(\frac{\theta_2 - \theta_f}{\theta_f - \theta_1} \right) - m_1 \times c_{\text{eau}} \text{ et}$$

$$\mu = \frac{C_{\text{calo}}}{c_{\text{eau}}} = m_2 \times \left(\frac{\theta_2 - \theta_f}{\theta_f - \theta_1} \right) - m_1 = 12 \text{ g.}$$

Cette valeur permet de remplacer dans les calculs les caractéristiques du calorimètre par une masse virtuelle d'eau. On ne réfléchit donc plus qu'en termes d'échanges entre sous-systèmes constitués de masses d'eau.

33. ★ Isolation simple, double, triple vitrage

> COMPÉTENCES : Analyser, réaliser, valider.

a. On utilise les formules en lien avec la résistance ther-

$$\text{mique : } R_{\text{th}} = \frac{e}{\lambda S} \text{ et } \Phi = \frac{\Delta T}{R_{\text{th}}}.$$

Les résistances thermiques des double et triple vitrages se déterminent en ajoutant les résistances thermiques des éléments les constituant (verre + air + verre).

Simple vitrage	$R_{\text{th}}(\text{verre}) = 8,3 \times 10^{-4} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$	$\phi = 3,0 \times 10^4 \text{ W}$
Double vitrages	$R_{\text{th}} = 2R_{\text{th}}(\text{verre}) + R_{\text{th}}(\text{air}) = 0,12 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$	$\phi = 2,2 \times 10^2 \text{ W}$
Triple vitrages	$R_{\text{th}} = 3R_{\text{th}}(\text{verre}) + 2R_{\text{th}}(\text{air}) = 0,23 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$	$\phi = 1,1 \times 10^2 \text{ W}$

Remarque : les calculs sont effectués sans arrondir les résultats intermédiaires.

b. La configuration la plus isolante est bien celle du triple vitrage. Le flux thermique est réduit d'un facteur 300 en comparaison d'un simple vitrage.

34. Bouclier thermique

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, communiquer.

Lorsqu'un engin spatial pénètre dans l'atmosphère terrestre lors de son retour sur terre, sa structure est soumise à des frottements très importants. La température du matériau externe peut atteindre plus de 1 600 °C. Ce matériau externe porte bien son nom de bouclier thermique. C'est un matériau composite qui doit être très résistant mécaniquement et thermiquement. Il est constitué de tuiles réfractaires positionnées de façon stratégique sur la face exposée de l'engin.

Lorsqu'un problème survient, la situation peut être dramatique. Des dégâts sur le bouclier thermique peuvent conduire à la destruction de l'engin spatial. L'une des ressources évoque le cas de la navette spatiale américaine Columbia qui explosa en vol en 2003. Les conclusions de l'enquête évoquent une destruction localisée du bouclier thermique par un objet s'étant détaché de la navette.

Les solutions futures de bouclier thermique doivent présenter deux avantages :

- la mise en place simplifiée : les tuiles actuelles sont de petites tailles ce qui peut générer des défauts aux jointures lors de la pose ;
- l'inspection systématique simplifiée.

Il est difficile et laborieux d'inspecter une multitude de tuiles.

Finalement, le projet « Shingle » semble proposer une solution intéressante. Des tuiles de plus grandes tailles (1 m^2), encadrées dans une structure permettant l'installation sans problème de jointure.

Ce projet est développé par le CNES et participe à l'élaboration de l'engin spatial du futur PRE-X.

EXERCICES Objectif BAC

Les fiches-guides permettant d'évaluer ces exercices par compétences sont disponibles sur le site : sirius.nathan.fr/sirius2017

35. LE SAUNA

> COMPÉTENCES : S'approprier, réaliser, analyser, valider, communiquer.

1. a. Les flèches représentent les mouvements de convection de l'air (remarque : la force motrice de ces mouvements est la poussée d'Archimède).

b. Le document 2 indique que le poêle est adapté au sauna de volume compris entre $8,0$ et $15,0 \text{ m}^3$. Or la pièce décrite dans l'énoncé a un volume de $2 \times 2 \times 3 = 12 \text{ m}^3$ ce qui prouve que le poêle est adapté aux besoins du particulier.

2. a. On souhaite connaître l'épaisseur de béton $e_{\text{béton}}$ ayant la même résistance thermique que l'épaisseur $e_{\text{sapin}} = 5,0 \text{ cm}$, pour une même surface S . On en déduit $R_{\text{th,sapin}} = R_{\text{th,béton}}$ et avec l'expression du document 3 :

$$\frac{e_{\text{sapin}}}{\lambda_{\text{sapin}} \times S} = \frac{e_{\text{béton}}}{\lambda_{\text{béton}} \times S}$$

D'où l'épaisseur équivalente $e_{\text{béton}} = \frac{\lambda_{\text{béton}}}{\lambda_{\text{sapin}}} \times e_{\text{sapin}}$ ce qui

donne après application numérique $e_{\text{béton}} = 58 \text{ cm}$. Une

paroi en béton doit être plus de dix fois plus épaisse pour isoler autant qu'une paroi en sapin.

b. L'énergie délivrée par le poêle vaut $\mathcal{E} = \mathcal{P} \times \Delta t$. D'après l'hypothèse elle sert intégralement à chauffer les pierres en stéatite, soit $\mathcal{E} = \Delta Q_u$.

Or ces pierres constituent un système condensé :

$$\Delta Q_u = m \times c \times \Delta T.$$

D'où la relation $\Delta t = \frac{m \times c \times \Delta T}{\mathcal{P}}$, ce qui donne après

application numérique $4,4 \times 10^2 \text{ s}$ soit environ 7 minutes et 20 secondes.

c. D'après la notice, le préchauffage dure entre 40 et 70 minutes ce qui invalide l'hypothèse de la question

précédente. La puissance du poêle n'est pas intégralement utilisée pour le chauffage des pierres en stéatite. Elle sert également à chauffer toute la pièce (air, murs, etc.).

36. RÉOLUTION DE PROBLÈME

Isoler pour faire des économies

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, réaliser.

On commence par évaluer le flux thermique à travers la paroi dans chacun des cas, en commençant par évaluer la résistance thermique.

Premier cas : sans isolation

$$R_{\text{th}1} = R_{\text{th,brique}} = \frac{e}{\lambda_{\text{brique}} \times S} = \frac{0,20}{0,67 \times 60} = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1},$$

ce qui permet de calculer le flux

$$\Phi_1 = \frac{\Delta T}{R_{\text{th}1}} = \frac{20}{5,0 \times 10^{-3}} = 4,0 \times 10^3 = 4,0 \text{ kW}.$$

Deuxième cas : isolation par le polystyrène

$$R_{\text{th,polystyrène}} = \frac{e'}{\lambda_{\text{polystyrène}} \times S} = \frac{0,04}{0,033 \times 60} = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$$

$$R_{\text{th}2} = R_{\text{th}1} + R_{\text{th,polystyrène}} = 2,5 \times 10^{-2} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1} \Rightarrow \Phi_2 = \frac{\Delta T}{R_{\text{th}2}} = 8,0 \times 10^2 \text{ W} = 0,80 \text{ kW}$$

Troisième cas : isolation par l'air

Ces flux se traduisent par une dépense électrique. En faisant l'hypothèse d'un mois de 30 jours donc 30 fois 24 heures, on en déduit les dépenses énergétiques correspondantes.

• Premier cas :

$$4,0 \times 30 \times 24 = 2,9 \times 10^3 \text{ kWh}$$

soit un coût de $2,9 \times 10^3 \times 0,10 = 290 \text{ €}$.

• Deuxième cas :

$$0,80 \times 30 \times 24 = 5,7 \times 10^2 \text{ kWh}$$

soit $5,7 \cdot 10^2 \times 0,10 = 57 \text{ €}$ soit une économie de 233 € par rapport au premier cas.

• Troisième cas :

$$0,65 \times 30 \times 24 = 4,7 \times 10^2 \text{ kWh}$$

soit $4,7 \cdot 10^2 \times 0,10 = 47 \text{ €}$ soit une économie de 243 € par rapport au premier cas (mais c'est plus difficile donc plus coûteux à construire).

37. ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

Étude d'une installation thermique

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, réaliser, communiquer.

L'énoncé mentionne qu'il faut subvenir aux besoins de 75 campeurs qui consomment 50 litres d'eau chaude par jour, et les données indiquent qu'un ballon d'eau chaude contient 750 L, ce qui permet d'alimenter

$$\frac{750}{50} = 15 \text{ campeurs. Il faut donc } \frac{75}{15} = 5 \text{ ballons pour}$$

75 campeurs.

Le chauffage de ces $750 \times 5 = 3750 \text{ L}$ d'eau nécessite une énergie de $\Delta Q_u = \rho_{\text{eau}} \times c_{\text{eau}} \times V \times \Delta T = 7,50 \times 10^8 \text{ J}$.

Analyse des documents à la lumière du problème posé

- Le document 1 est une présentation générale d'un chauffe-eau solaire: ce dernier capte l'énergie solaire (rayonnement), qui fournit un transfert thermique au liquide caloporteur qui se met en mouvement grâce à la convection pour à son tour fournir un transfert thermique à l'eau du ballon par conduction via le serpentin de cuivre. Ces informations servent surtout à comprendre le fonctionnement du dispositif.
- Le document 2 présente l'énergie solaire maximale reçue par jour en France: on constate qu'à Valence, elle s'élève à $4,2 \text{ kWh}\cdot\text{m}^2$.
- Le document 3 présente les deux implantations possibles: la première implantation est orientée plein Est (90° par rapport à l'axe Nord-Sud) sur un toit incliné à 60° . La seconde implantation est orientée à 15° Sud-Ouest (15° par rapport à l'axe Nord-Sud, à mesurer avec un rapporteur sur la figure qui est à l'échelle) sur un toit incliné à 30° .
- Le document 4 donne le rendement d'un capteur solaire en fonction de son orientation et de son inclinaison. C'est ce dernier qui permet de trancher entre les deux implantations. En effet, à 90° Ouest, pour une inclinaison de 60° , le rendement est à la limite entre 60 et 70 %. Le document permet cette précision. La même lecture pour 15° Sud montre que sur un toit incliné à 30° , le rendement d'un capteur vaut 100 %. D'où le choix de l'implantation 2.

Il s'agit, une fois l'implantation 2 choisie, de savoir combien de panneaux seront nécessaires.

Avec un rendement de 100 %, un panneau peut capter l'énergie $e = 4,2 \times 10^3 \times 2,7 \times 3\,600 = 4,1 \times 10^7 \text{ J}$.

Pour chauffer les 5 ballons il faudra utiliser $\frac{\Delta Q}{e} = 18,4$ panneaux (donc 19 pour assurer de l'eau chaude pour le camping plein) si le toit peut accueillir tous ces panneaux.

Exemple de synthèse:

Pour fournir 50 L d'eau chaude à 15 campeurs, il faut apporter aux $15 \times 50 = 750 \text{ L}$ d'eau un transfert thermique de $Q = \Delta Q = \rho_{\text{eau}} \times c_{\text{eau}} \times V \times \Delta T = 7,50 \cdot 10^8 \text{ J}$.

À Valence, on peut espérer récupérer $4,2 \text{ kWh}\cdot\text{m}^2$ par jour, soit pour un panneau solaire de surface $S = 2,7 \text{ m}^2$: $4,2 \times 10^3 \times 2,7 \times 3\,600 = 4,1 \times 10^4 \text{ kJ}$ ou après conversion $4,1 \times 10^7 \text{ kJ}$.

Il faut alors choisir l'implantation des panneaux: la première possibilité présente un rendement entre 60 et 70 % alors que la seconde présente un rendement de 100 %. On privilégiera alors cette solution si c'est possible techniquement.

Il faudra alors, en supposant que toute l'énergie solaire soit transférée à l'eau, évaluer le nombre de panneaux nécessaires: $\frac{7,50 \times 10^8}{4,1 \times 10^7} = 18,3$ panneaux soit

19 panneaux pour assurer le confort de tous les campeurs.