

Réduire la consommation d'énergie est, de nos jours, au cœur des préoccupations afin de préserver l'environnement, épargner les ressources naturelles et limiter les dépenses. Une grande part de la consommation d'énergie provient de l'habitat. Comment rendre une maison plus économe en énergie de chauffage ?

1. Isolant thermique : faire le bon choix

Soucieux de réduire ses dépenses de chauffage, Frédéric décide d'améliorer l'isolation thermique de son habitation. Sa maison possédant un grenier non chauffé, il décide d'en isoler le sol.

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

1.1. Dans quel sens s'effectuera le transfert thermique dans la maison de Frédéric ?

1.2. Donner l'expression puis calculer le flux thermique Φ à travers le sol du grenier.

Frédéric consulte de nombreuses documentations sur l'isolation thermique. 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.

1.3. Utiliser le tableau suivant pour conseiller Frédéric dans son choix de matériau. Justifier.

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

1.4. La résistance thermique totale du sol du grenier doit atteindre la valeur $R = 6,3 \times 10^{-2} \text{ K.W}^{-1}$. 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 choisi précédemment par Frédéric à la question 1.3.

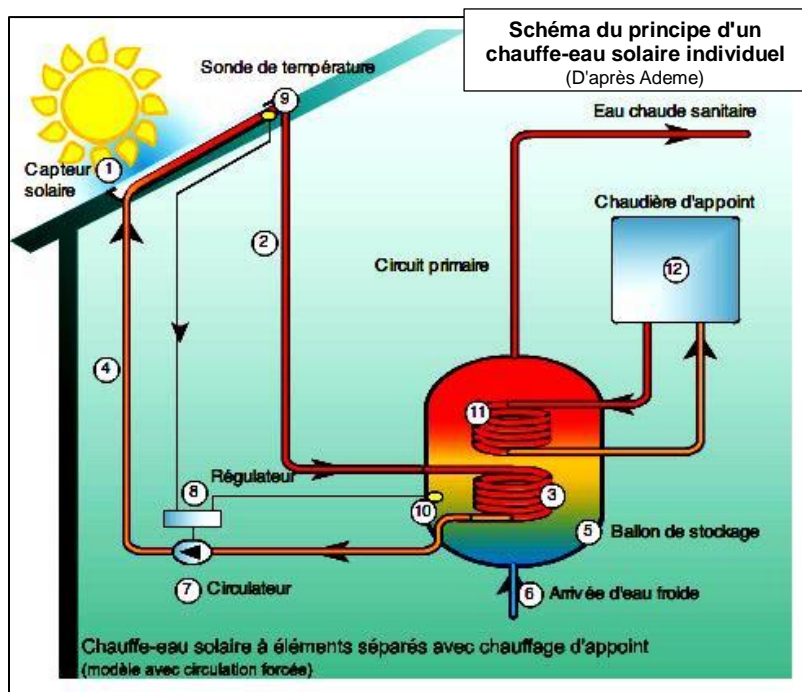
1.5. Frédéric a lu que la résistance thermique d'une paroi plane dépend de la conductivité thermique λ du matériau constituant la paroi, de son épaisseur e et de la surface S traversée par le flux thermique. La résistance thermique est inversement proportionnelle à la conductivité thermique et à la surface traversée et proportionnelle à l'épaisseur.

1.5.1. À partir des informations ci-dessus, donner l'expression de la résistance thermique d'une paroi plane.

Vérifier l'homogénéité de votre expression.

1.5.2. Tous les matériaux proposés dans le tableau s'achètent sous forme de panneaux rigides dans le commerce. Quelle épaisseur minimale doit posséder le panneau du matériau choisi par Frédéric ?

2. Principe d'un chauffe-eau solaire. Toujours dans le but de réaliser des économies d'énergie, Frédéric envisage de produire son eau chaude sanitaire en tirant profit de l'énergie solaire. Il se documente sur le principe d'un chauffe-eau solaire individuel. Voici le résultat de ses recherches :



Un chauffe-eau solaire se compose d'un capteur solaire thermique (qui se comporte comme une mini serre) (1). Dans le circuit primaire (2) calorifugé circule le liquide caloporteur (eau + glycol). Ce liquide s'échauffe lorsqu'il passe dans les tubes du capteur solaire et se dirige vers le ballon de stockage (5) de l'eau sanitaire. Le liquide caloporteur cède sa chaleur à l'eau sanitaire par l'intermédiaire d'un échangeur thermique (3). Une fois refroidi, le liquide caloporteur repart vers le capteur solaire où il sera à nouveau chauffé. Une pompe électrique (7) met en mouvement le liquide caloporteur lorsque la température de celui-ci est supérieure à celle de l'eau sanitaire du ballon.

L'énergie solaire ne peut pas assurer la production d'eau chaude quelle que soit la saison. C'est pourquoi le ballon de stockage est également équipé d'un dispositif de chauffage d'appoint (ensemble (11) et (12)).

- 2.1. Citer les trois modes de transfert thermique. Les présenter.
- 2.2. Quel mode de transfert thermique intervient :
 - au niveau du capteur solaire (1),
 - au niveau de l'échangeur thermique (3),
 - et à l'intérieur du ballon de stockage (5) ? Justifier.
- 2.3. Le fluide caloporteur s'échauffe lorsqu'il passe dans le capteur solaire. Comment varie son énergie interne ? Pourquoi ?

3. Bilan thermique

Installé dans sa cuisine, Frédéric poursuit ses réflexions sur les modifications à réaliser dans sa maison tout en se préparant une tasse de thé. Il réchauffe l'eau de son thé à l'aide de son four à micro-ondes. Lorsque les micro-ondes atteignent les molécules d'eau présentes dans les aliments, celles-ci se mettent à osciller $2,45 \times 10^9$ fois par seconde. La mise en mouvement des molécules d'eau produit la chaleur nécessaire pour réchauffer les aliments.

- Données :**
- Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$;
 - Masse volumique de l'eau : $\rho_{\text{eau}} = 1,00 \text{ kg.L}^{-1}$;
 - Capacité thermique de l'eau : $c_{\text{eau}} = 4180 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$;
 - On rappelle que l'énergie transférée à un système avec une puissance P pendant la durée Δt est : $E = P \Delta t$.

3.1. À quel type d'ondes les micro-ondes appartiennent-elles ?

3.2. Déterminer la longueur d'onde des micro-ondes du four.

Frédéric chauffe un volume $V = 250 \text{ mL}$ d'eau dans sa tasse. Il souhaite que la température de l'eau passe de $10 \text{ }^\circ\text{C}$ à $90 \text{ }^\circ\text{C}$.

3.3. Calculer la variation d'énergie interne de l'eau contenue dans la tasse.

On suppose que le four à micro-ondes est bien isolé. Le four est réglé sur la position de puissance $P = 900 \text{ W}$.

3.4. Au bout de combien de temps l'eau du thé sera-t-elle prête ?

1. Isolant thermique : faire le bon choix**1.1. Dans quel sens s'effectuera le transfert thermique dans la maison de Frédéric ?**

Le transfert thermique s'effectue du système ayant la température la plus élevée (l'intérieur de la maison) vers le système ayant la température la plus basse (le grenier).

1.2. Expression puis calculer le flux thermique Φ à travers le sol du grenier.

$$\phi = \frac{\theta_2 - \theta_1}{R} \quad \text{avec } \theta_2 = 20^\circ\text{C} ; \theta_1 = 5,0^\circ\text{C} ; R = 7,5 \times 10^{-3} \text{ K.W}^{-1} \quad \text{A.N. : } \phi = \frac{20-5}{7,5 \cdot 10^{-3}} = 2,0 \cdot 10^3 \text{ W}$$

1.3. Utiliser le tableau suivant pour conseiller Frédéric dans son choix de matériau. Justifier.

Frédéric doit choisir le matériau qui conduit peu la chaleur. Il devrait choisir le **polystyrène extrudé** (conductivité la plus faible $\lambda = 0,033 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$).

1.4. Calcul de la résistance thermique de l'isolant choisi précédemment par Frédéric à la question 1.3.

Comme il y a additivité des résistances thermiques :

$$R_{\text{tot}} = R_{\text{paroi}} + R_{\text{iso}} \quad \text{donc } R_{\text{iso}} = R_{\text{tot}} - R_{\text{paroi}} \quad \text{avec } R_{\text{tot}} = 6,3 \cdot 10^{-2} \text{ K.W}^{-1} ; R_{\text{paroi}} = R_{\text{sol}} = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ K.W}^{-1}$$

$$\text{Donc résistance thermique de l'isolant : } R_{\text{iso}} = 6,3 \cdot 10^{-2} - 7,5 \times 10^{-3} = 6,3 \cdot 10^{-2} - 0,75 \cdot 10^{-2} = 5,55 \cdot 10^{-2} \text{ K.W}^{-1} = 5,6 \cdot 10^{-2} \text{ K.W}^{-1}$$

1.5.1. Donner l'expression de la résistance thermique d'une paroi plane. Vérifier l'homogénéité de votre expression.

λ : conductivité thermique en $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$; e : épaisseur de la paroi en m ; S : surface en m^2

$$\text{Analyse dimensionnelle : } \left[\frac{e}{\lambda \cdot S} \right] = \frac{[e]}{[\lambda] \cdot [S]} = \frac{\text{m}}{\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1} \cdot \text{m}^2} = \frac{1}{\text{W.K}^{-1}} = \text{K.W}^{-1}$$

$$\text{On } R_{\text{th}} = \frac{e}{\lambda \cdot S} \quad \text{a bien vérifié que } \left[\frac{e}{\lambda \cdot S} \right] = [R_{\text{th}}]$$

1.5.2. Tous les matériaux proposés dans le tableau s'achètent sous forme de panneaux rigides dans le commerce.**Quelle épaisseur minimale doit posséder le panneau du matériau choisi par Frédéric ?**

Calcul de e du polystyrène : $R_{\text{th}} = \frac{e}{\lambda \cdot S} \Leftrightarrow e = R_{\text{th}} \cdot \lambda \cdot S$ avec $R_{\text{th}} = 5,6 \cdot 10^{-2} \text{ K.W}^{-1}$; $\lambda = 0,033 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$; Surface du sol du grenier : $S = 80 \text{ m}^2$. Donc $e = R_{\text{th}} \cdot \lambda \cdot S = 5,6 \cdot 10^{-2} \cdot 0,033 \cdot 80 = 0,15 \text{ m}$.

L'épaisseur minimale du panneau de polystyrène doit être de 0,15 m soit **15 cm**.

2. Principe d'un chauffe-eau solaire**2.1. Les trois modes de transfert thermique sont (cours) :**

- **conduction** : elle nécessite un milieu matériel. L'énergie est transportée de proche en proche, généralement dans un solide, sans déplacement de matière.
- **convection** : elle nécessite un milieu matériel. L'énergie est transportée par des mouvements de matière, au sein d'un liquide ou d'un gaz.
- **rayonnement** : elle ne nécessite pas de milieu matériel. L'énergie est transportée par des ondes électromagnétiques

2.2. Quel mode de transfert thermique intervient :

- au niveau du capteur solaire (1) : **le rayonnement** (dû aux ondes électromagnétiques émises par le Soleil).
- au niveau de l'échangeur thermique (3) : **par conduction** car l'énergie traverse la paroi solide.
- à l'intérieur du ballon de stockage (5) : **par convection** car l'énergie transportée est due au mouvement de l'eau sanitaire

2.3. Le fluide caloporteur s'échauffe lorsqu'il passe dans le capteur solaire. Comment varie son énergie interne ?

L'énergie interne est liée à l'agitation thermique des molécules d'eau. Plus la température est élevée, plus l'agitation thermique est importante : l'énergie interne augmente donc avec la température.

3. Bilan thermique

Chauffage de l'eau dans la tasse avec un micro-ondes.

3.1. À quel type d'ondes les micro-ondes appartiennent-elles ?

Les micro-ondes sont des ondes électromagnétiques.

3.2. Déterminer la longueur d'onde des micro-ondes du four.

$$\text{Par définition de la longueur d'onde : } \lambda = \frac{c}{f} \quad \text{or } f = 2,45 \cdot 10^9 \text{ Hz. Donc } \lambda = \frac{3,00 \cdot 10^8}{2,45 \cdot 10^9} = 0,122 \text{ m}$$

3.3. Volume chauffé : $V = 250 \text{ mL}$ d'eau dans sa tasse. La température de l'eau passe de 10°C à 90°C .**Calcul de la variation d'énergie interne de l'eau contenue dans la tasse.**

Système $\{ V = 250 \text{ mL d'eau} \}$. L'eau est chauffée donc $Q > 0$ On a $\Delta U = Q = m \cdot c_{\text{eau}} \cdot \Delta\theta$ avec

$$m = \rho_{\text{eau}} \cdot V = 1 \cdot 0,250 = 0,250 \text{ kg. Donc } \Delta U = Q = m \cdot c_{\text{eau}} \cdot \Delta\theta = 0,250 \cdot 4180 \cdot (90 - 10) = 8,36 \times 10^4 = 8,4 \times 10^4 \text{ J}$$

3.4. Le four est réglé sur une puissance $P = 900 \text{ W}$. On suppose que le four à micro-ondes est bien isolé.**Au bout de combien de temps l'eau du thé sera-t-elle prête ?**

On sait que $E = P \cdot \Delta t$ En admettant que toute la puissance du four serve à chauffer l'eau, la durée de chauffage

$$\text{sera : } \Delta t = \frac{E}{P} = \frac{Q}{P} = \frac{8,4 \cdot 10^4}{900} = 93 \text{ s soit } 1 \text{ min } 33 \text{ s.}$$

L'eau du thé sera prête au bout d'un peu plus de 1 minute et demi.