

But de l'activité : Découvrir les différents modes de transfert thermique.

Lorsqu'il existe une différence de température entre deux systèmes, une partie de l'énergie du système chaud est spontanément transférée vers le système froid : c'est un transfert thermique. Lorsque les deux systèmes atteignent la même température, le transfert thermique cesse : c'est l'équilibre thermique. Par quels moyens ces transferts thermiques sont-ils possibles ?

Partie I : Modes de transfertDocument 1 : Modes de transfert thermique

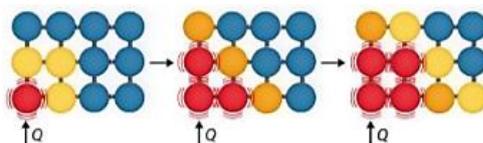
Il existe différents modes pour transférer l'énergie thermique :

• La conduction

Transfert thermique de proche en proche, sans déplacement de matière.

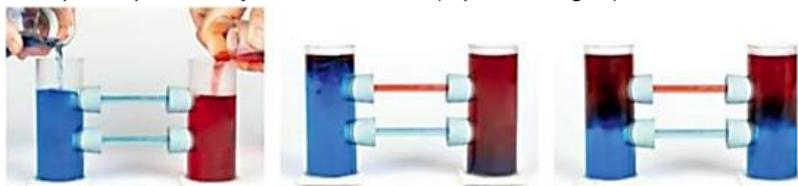
Ce mode est généré au niveau microscopique par des interactions entre des entités en contact direct.

C'est le seul mode de transfert thermique dans les solides.

**• La convection**

Transfert thermique provoqué par le mouvement interne du fluide qui compose le système.

Ce mode de transfert est spécifique aux systèmes fluides (liquides et gaz).

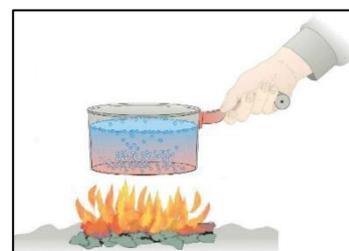


Lorsqu'un fluide est chauffé (en rouge), il se dilate et sa densité diminue. Au contraire, le fluide refroidi (en bleu) se contracte. L'énergie se propage alors par convection.

• Le rayonnement

Transfert thermique généré par l'absorption ou l'émission d'un rayonnement électromagnétique.

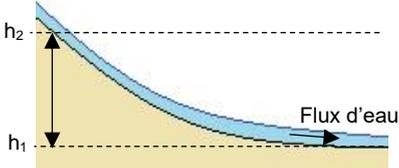
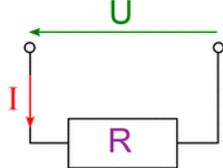
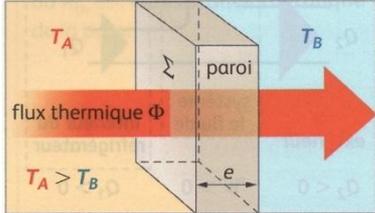
1. Quel phénomène microscopique est responsable de la conduction ?
2. Dans l'expérience de convection présentée dans le document 1, photo de droite, que se produirait-il si on plaçait le tube de gauche dans un bain d'eau chaude et le tube de droite dans un bain glacé ? Justifier.
3. Seul un des trois modes de transfert thermique est possible dans le vide. Lequel ? Justifier.
4. On mélange de l'eau chaude avec de l'eau froide et on attend que l'équilibre thermique se fasse. Cette transformation est dite irréversible. Expliquer ce terme.
5. On considère la situation suivante : pour chauffer de l'eau, on place celle-ci dans une casserole en métal que l'on tient à la main au-dessus d'un feu.
 - a. Quels sont les différents systèmes mis en jeu dans cette situation ?
 - b. Quel mode de transfert thermique est mis en jeu entre chacun de ces systèmes ?



Partie II : Flux thermique

Le transfert thermique peut se faire plus ou moins rapidement. Pour évaluer la vitesse de transfert, on observe le flux thermique, c'est-à-dire la variation d'énergie thermique au cours du temps.

Document 3 : Flux thermique et résistance thermique

Analogies pour comprendre		Définition
Cours d'eau	Dipôle électrique	Paroi
 <p>Le flux d'eau Φ_{eau} correspond à la quantité d'eau qui passe à travers une section de la rivière par unité de temps.</p> <p>Dans une rivière, pour que l'eau coule, il faut qu'il y ait une différence d'altitude Δh, appelée hauteur, entre le début et la fin du courant d'eau.</p> <p>Le flux d'eau et la hauteur sont proportionnels :</p> $\Phi_{eau} = k \Delta h$	 <p>Le courant électrique I correspond au flux d'électrons, c'est-à-dire à la quantité d'électrons qui passe à travers une section de fil par unité de temps ($I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$). Son unité est l'ampère A, où $1 A = 1 C.s^{-1}$.</p> <p>Dans un circuit, pour que le courant passe, il faut qu'il y ait une différence de potentiel ΔV, appelée tension U, entre les bornes du dipôle. La tension a pour unité le volt V.</p> <p>Le flux d'électron, donc le courant, et la tension sont proportionnels :</p> $U = R I$ <p>R est appelée la résistance du dipôle, exprimée en Ω.</p>	 <p>Le flux thermique Φ correspond à la quantité d'énergie qui passe à travers une paroi par unité de temps ($\Phi = \frac{\Delta E}{\Delta t}$). Son unité est le watt W, où $1 W = 1 J.s^{-1}$. <i>Le flux thermique a la dimension d'une puissance, et il est parfois appelé puissance thermique.</i></p> <p>Pour que l'énergie passe à travers la paroi, il faut qu'il y ait une différence de température ΔT. La température a pour unité SI le kelvin K. <i>Comme $T_K = \theta_c + 273$, $\Delta T = \Delta \theta$ et la différence de température peut s'exprimer en $^{\circ}C$</i></p> <p>Le flux thermique et la différence de température sont proportionnels :</p> $ \Delta T = R_{th} \Phi$ <p>R_{th} est appelée la résistance thermique de la paroi, exprimée en $K.W^{-1}$.</p>
<p>La résistance thermique d'une paroi dépend du matériau composant la paroi, mais aussi du volume de la paroi. Pour caractériser la conduction dans un matériau, on utilise la conductivité thermique λ_{th}.</p> <p>L'isolation d'une paroi de surface Σ et d'épaisseur e est alors caractérisée par la résistance thermique R_{th}, de telle sorte que : $R_{th} = \frac{e}{\lambda_{th} \Sigma}$</p>		

6. D'un point de vue du flux thermique, qu'est une paroi isolante ? Que peut-on alors dire de la résistance thermique d'une paroi isolante par rapport à une paroi non-isolante ?

7. Déterminer l'unité de la conductivité thermique λ_{th} par une analyse dimensionnelle (avec les unités).

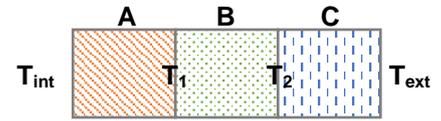
8. On considère les matériaux ci-dessous.

Matériau	Bois	Polystyrène	Béton	Verre	Air
$\lambda_{th} (W.m^{-1}.K^{-1})$	0,16	0,036	1,4	1,2	0,026

a. Pour des parois de tailles (surface et épaisseur) identiques, quel matériaux est le plus isolant ? Justifier.

b. Une paroi de surface $30 m^2$ est composé d'une épaisseur de $15,0 cm$ de bois. Quelle épaisseur de béton faudrait-il, pour une même surface, pour obtenir la même isolation thermique ? Même question pour le polystyrène.

9. On fabrique une paroi en associant 3 plaques A, B et C de résistances thermiques R_{th_A} , R_{th_B} et R_{th_C} respectivement. La résistance thermique de l'ensemble est R_{th_T} . La température intérieure T_{int} est supérieure à la température extérieure T_{ext} . On note Φ le flux thermique à travers l'ensemble des plaques



- Exprimer la relation entre Φ , T_{int} , T_{ext} et R_{th_T} .
- Déterminer la relation entre Φ , T_{int} , T_1 et R_{th_A} , puis entre Φ , T_1 , T_2 et R_{th_B} et enfin entre Φ , T_2 , T_{ext} et R_{th_C} .
- En déduire la relation entre R_{th_T} , R_{th_A} , R_{th_B} et R_{th_C} .

Application : matelas de camping

On peut lire dans une documentation sur les matelas de sol en mousse :

« Une fois allongé, vous écrasez votre sac de couchage ce qui le rend inefficace. En contact avec un sol plus froid que votre corps, vous perdez alors 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 ».

Un randonneur souhaite comparer les capacités d'isolation thermique de deux matelas de sol (matelas A et matelas B) 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. Il approxime aussi que la surface de son corps au contact du matelas est $S = 0,5 \text{ m}^2$.

La température de l'air et du sol est de $15 \text{ }^\circ\text{C}$ et celle de la peau est de $33 \text{ }^\circ\text{C}$.

Le matelas de sol A possède les caractéristiques suivantes :

Température minimale d'utilisation	Conductivité thermique	Dimensions : longueur × largeur épaisseur
6°C	$0,03 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	$193 \text{ cm} \times 62 \text{ cm} \times 1,1 \text{ cm}$

Le flux thermique traversant le matelas B, dans les mêmes conditions d'utilisation, est de 40 W .

10. Quel matelas possède les meilleures capacités d'isolation thermique ? Justifier.

Application : double vitrage

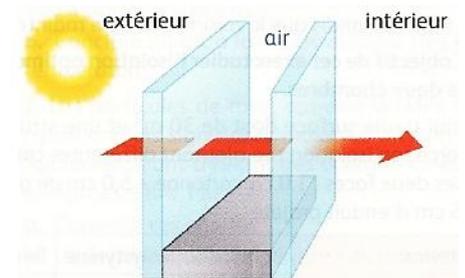
L'utilisation de double vitrage pour les fenêtres est une technique efficace dans l'isolation thermique des bâtiments.

On considère ici des parois en verre de $75 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$ dans un environnement où la température extérieure moyenne est de 4°C et la température intérieure est de 20°C .

11. En simple vitrage (une seule paroi) d'épaisseur $7,0 \text{ mm}$, calculer le flux thermique s'échappant par la fenêtre.

12. La fenêtre en double vitrage comporte deux parois d'épaisseur $3,5 \text{ mm}$ chacune, séparées par 12 mm d'air. Calculer le flux thermique perdu par la fenêtre.

13. Déterminer l'économie d'énergie réalisée par l'utilisation de double vitrage.



❖ **Modes de transfert thermiques**

• La conduction

Transfert thermique

Ce mode est généré au niveau microscopique par des interactions entre des entités en contact direct. C'est le seul mode de transfert thermique dans les solides.

• La convection

Transfert thermique provoqué par

Ce mode de transfert est spécifique aux systèmes fluides (liquides et gaz)

• Le rayonnement

Transfert thermique généré par

❖ **Flux thermique et résistance thermique**

Le flux thermique Φ correspond à

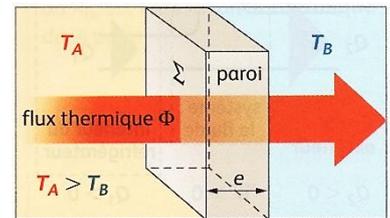
$$\left(\Phi = \frac{\Delta E}{\Delta t} \right).$$

Son unité est le watt W, où $1 \text{ W} = 1 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$.

Le flux thermique a la dimension d'une puissance, et il est parfois appelé puissance thermique.

Pour que l'énergie passe à travers la paroi, il faut qu'il y ait une différence de température ΔT . La température a pour unité SI le kelvin K.

Comme $T_K = \theta_C + 273$, $\Delta T = \Delta \theta$ et la différence de température peut s'exprimer en °C



Le flux thermique et la différence de température sont proportionnels :

R_{th} est appelée la résistance thermique de la paroi, exprimée en $\text{K} \cdot \text{W}^{-1}$.

La résistance thermique d'une paroi dépend du matériau composant la paroi, mais aussi du volume de la paroi. Pour caractériser la conduction dans un matériau, on utilise la conductivité thermique λ_{th} , exprimée en $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. L'isolation d'une paroi de surface Σ et d'épaisseur e est alors caractérisée par la résistance thermique de telle sorte que :