

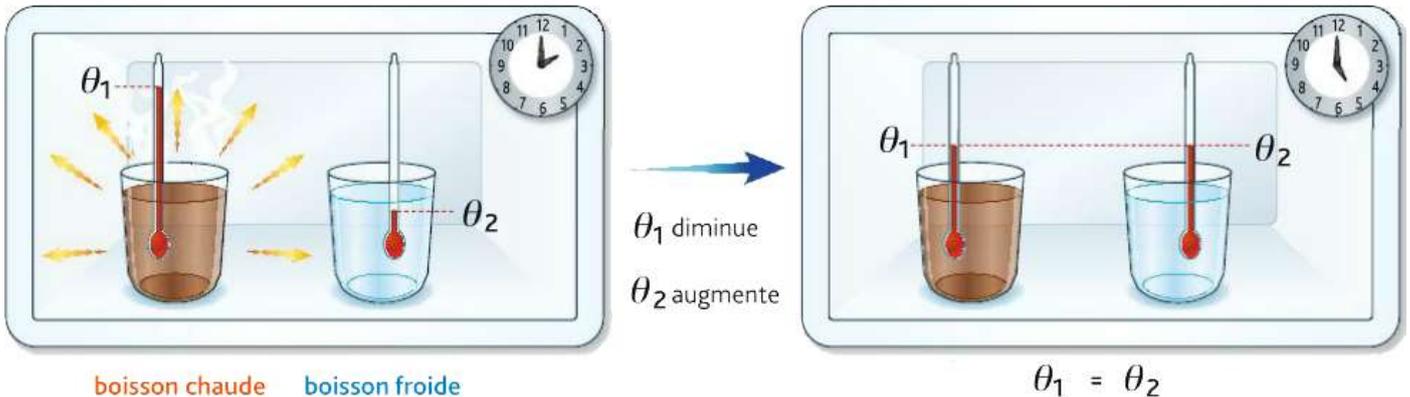
TRANSFERTS THERMIQUES

1. TRANSFERTS THERMIQUES.

1.1. QU'EST-CE-QU'UN TRANSFERT THERMIQUE ?

En apportant de l'énergie par travail, on peut chauffer un corps. On peut réaliser les mêmes transformations en mettant le corps en contact avec une source chaude: une flamme ou un conducteur ohmique porté à température élevée par le passage du courant.

On dit alors qu'il s'est produit un *transfert d'énergie sous forme thermique*; de l'énergie est transférée de la flamme ou du conducteur à l'eau.



Il se produit également un transfert thermique si l'on place un corps chaud dans une pièce: le corps chaud se refroidit en transférant continuellement de l'énergie à l'air de la pièce qui se réchauffe (mais dont la température ne s'élève que très peu).

2.2. QUE PROVOQUE UN TRANSFERT THERMIQUE ?

Mise en évidence.

Si on chauffe une certaine quantité d'eau.

On dit qu'il y a transfert thermique de la source chaude à l'eau ou que l'eau reçoit une certaine quantité de chaleur.

Ce transfert thermique peut de stocker de l'énergie dans l'eau: l'énergie interne de l'eau augmente.

Définition.

Un transfert thermique modifie l'énergie interne d'un corps. Un transfert thermique s'effectue toujours du corps le plus chaud vers le corps froid.

Corps chaud

Transfert thermique

Corps froid

3. QUELS SONT LES MODES DE TRANSFERTS THERMIQUES.

Les objets de températures différentes peuvent échanger de l'énergie selon trois modes de transfert thermique:

3.1. LE TRANSFERT THERMIQUE PAR CONDUCTION.

Définition:

Ce transfert thermique s'effectue sans transport de matière.

Exemple:

Si nous plaçons l'extrémité d'une tige métallique dans une flamme, l'autre extrémité devient rapidement brûlante. Il y a un transfert thermique de l'extrémité chaude de la tige, vers l'extrémité froide.

Le transfert thermique à travers les murs d'une maison s'effectue aussi par conduction.

Interprétation.

Nous pouvons donner une interprétation de ce phénomène en considérant que la flamme, en élevant la température d'une extrémité de la tige, augmente l'énergie cinétique des particules du métal (électrons, ions...) dans la zone chauffée. Cette agitation se propage de proche en proche, par chocs successifs, jusqu'à l'autre extrémité.

La conductivité thermique

La conductivité thermique est la grandeur physique qui caractérise l'aptitude d'un corps à conduire la chaleur. Elle est symbolisée par la lettre grecque λ (lambda). La conduction thermique est le mode de transfert de chaleur associée à cette grandeur.



Plus la conductivité thermique d'un matériau est élevée, plus celui-ci conduit la chaleur, et donc moins il est isolant. Dans le système international d'unités, la conductivité thermique est exprimée en watts par mètre par kelvin ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$). La conductivité thermique dépend principalement de la nature du matériau et de la température mais d'autres paramètres tels que l'humidité et la pression interviennent également.

Quand la température augmente, un isolant perd de sa capacité d'isolation et, à l'inverse, un conducteur perd de sa capacité de conduction. En général, la conductivité thermique va de pair avec la conductivité électrique. Par exemple, les métaux, bons conducteurs d'électricité sont aussi de bons conducteurs thermiques. Il y a toutefois des exceptions, le diamant par exemple a une conductivité thermique élevée, entre 1000 et $2600 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, alors que sa conductivité électrique est basse.

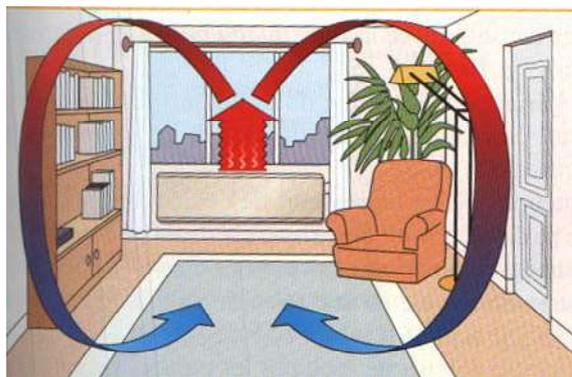
Conductivités thermiques de quelques matériaux			
Métaux	$\lambda \text{ (W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}\text{)}$	Vêtements et revêtements	$\lambda \text{ (W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}\text{)}$
Cuivre	386	Carton	0,63
Aluminium	210	Nylon	0,22 à 0,24
Fer	73	Cuir	0,18
Acier	46	Flanelle	0,096
Air	0,02	Toile de coton	0,088
Corps humain	$\lambda \text{ (W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}\text{)}$	Soie	0,04
Tissu humain (sans circulation du sang)	0,21	Feutre	0,036
Graisse	0,17	Duvet	0,02

3.2. LE TRANSFERT THERMIQUE PAR CONVECTION.

Définition:

Ce transfert thermique s'effectue avec transport de matière.

Exemple:



Si on place une fiole de colorant au fond d'un récipient rempli d'eau. On chauffe légèrement ce récipient. Des filets de colorant montent vers la surface. On observe un mouvement des parties chaudes de l'eau vers les parties froides.

Ce phénomène de convection joue un rôle très important dans les mouvements de masses d'eau de la Terre, ou dans les éruptions volcaniques.

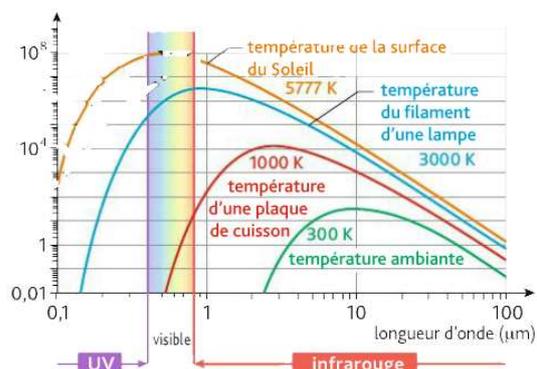
L'incendie sans flamme.

Lors de l'incendie d'un navire construit en acier, des transferts thermiques s'effectuent continuellement le long des structures du navire (par conduction thermique par un matériau métallique). La température de certains compartiments peut ainsi s'élever jusqu'à 300, 400 ou même 500°C. Dans ces conditions, les matériaux contenus dans ces compartiments peuvent s'enflammer et l'incendie peut se transmettre dans le navire sans que les flammes du foyer initial aient atteint ces compartiments.

3.3. UN 3^{ème} MODE DE TRANSFERT D'ENERGIE: LE RAYONNEMENT.

Le transfert thermique est un mode de transfert désordonné qui s'interprète à l'échelle microscopique par des transferts d'énergie lors d'interactions concernant des particules situées à l'interface entre le système et son environnement.

Le Soleil, source de réactions thermonucléaires, dégage une grande quantité d'énergie qui réchauffe la Terre.



Puissance du rayonnement émis par unité de surface en fonction de la longueur d'onde, pour une température donnée.

C'est aussi un transfert d'énergie, **MAIS** c'est le seul qui s'effectue même dans le vide. On l'appelle le **rayonnement**. C'est cette différence qui explique la distinction avec le transfert thermique.

Le rayonnement est constitué d'ondes électromagnétiques. Ce sont surtout les radiations infrarouges qui produisent l'échauffement des corps qui les reçoivent.

Le Soleil émet surtout des radiations visibles. Ces radiations sont absorbées par le sol et sont réémises sous formes d'infrarouges. L'atmosphère contenant de la vapeur d'eau et du dioxyde de carbone est plus ou moins opaque à ce rayonnement infrarouge. L'énergie se trouve ainsi piégée: c'est l'effet de serre.

Tout corps chaud émet un rayonnement infrarouge. Ce phénomène est utilisé dans les caméras à infrarouge, les appareils de thermographie.



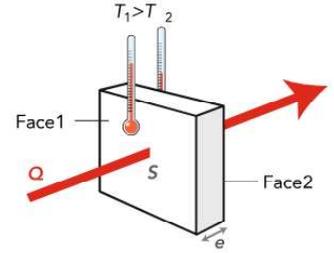
4. FLUX, TRANSFERT THERMIQUE, RESISTANCE THERMIQUE, CONDUCTIVITE THERMIQUE.

4.1. FLUX THERMIQUE

Le flux thermique à travers une surface est la puissance thermique qui la traverse. Il évalue la rapidité du transfert thermique. Il s'obtient par la relation

$$\Phi = \frac{Q}{\tau} \quad \text{avec } Q \text{ (en J) l'énergie transférée à travers la paroi pendant un temps } \tau \text{ (en s).}$$

Φ s'exprime en Watts.



Exemple: Calculer le flux thermique d'un mur qui laisse passer en une heure, une énergie $Q = 1,5 \times 10^3$ J.

4.2. RESISTANCE THERMIQUE

La résistance thermique d'un corps traduit sa capacité à s'opposer au transfert thermique.

Soit une paroi plane dont les deux faces sont à des températures T_1 et T_2 avec $T_2 > T_1$. Le flux thermique qui la traverse est noté Φ

La résistance thermique R_{th} de cette paroi est donnée par $R_{th} = \frac{T_1 - T_2}{\Phi}$ avec R_{th} qui s'exprime en $K.W^{-1}$.

Remarques:

- ♦ Lorsque plusieurs parois sont accolées, la résistance thermique totale est égale à la somme des résistances thermiques de chaque paroi.
- ♦ Les fabricants d'isolants indiquent en général la valeur de la résistance thermique ramenée à une surface de 1 m^2 ; elle est alors notée R et exprimée en $\text{m}^2.K.W^{-1}$, mais cette unité est souvent omise.

La résistance thermique d'une paroi dépend de la conductivité thermique λ du matériau, de son épaisseur e et de la surface S traversée par le flux:

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

On définit également le coefficient de transmission thermique K global (conduction, convection, rayonnement), $K = \frac{1}{R_{th}}$

La valeur de K dépend:

- ♦ de la conductivité thermique et de l'épaisseur du ou des matériaux qui constituent le revêtement, pour la conduction;
- ♦ de la nature et de la couleur des surfaces extérieures et intérieures de ce revêtement, pour le rayonnement;
- ♦ de l'environnement (fluide qui entoure le corps), pour la convection.

4.3. UN EXEMPLE: RESISTANCE THERMIQUE DES VETEMENTS

Le corps humain dans un environnement froid, produit l'énergie nécessaire en remplacement de celle éperdue par transfert thermique vers l'extérieur, au travers des vêtements.

L'unité de résistance d'un vêtement, utilisé pour indiquer l'isolation thermique, est le clo, du mot anglais cloths (vêtements).

Un vêtement de résistance thermique égale à 1 clo ($0,155 \text{ m}^2.^\circ\text{C}.W^{-1}$) permet de maintenir l'équilibre thermique d'une personne au repos dans une pièce de température égale à 21°C .

La résistance thermique des vêtements doit être adaptée à la température et à l'activité de la personne.

Conditions climatiques et activité de la personne			
Température extérieure	27°C	-80°C	-28°C
Puissance thermique fournie par le corps par m^2 de surface corporelle	60 W.m^{-2}	180 W.m^{-2}	48 W.m^{-2}
Résistance thermique des vêtements adaptés à la situation	0,4 clo	4 clo	8 clo

5. BILANS ENERGETIQUES

5.1. BILAN ENERGETIQUE

- Effectuer un bilan énergétique sur un système lors d'une transformation consiste à:
 - ♦ déterminer tous les transferts énergétiques qui ont lieu entre le système et l'extérieur: les énergies reçues sont comptées positives, les énergies cédées négatives;
 - ♦ représenter éventuellement les transferts par une chaîne énergétique, en distinguant les convertisseurs d'énergie des systèmes qui la stockent;
 - ♦ conclure par une évaluation de l'efficacité de la transformation.
- La variation de l'énergie totale d'un système au cours d'une évolution est donc uniquement égale à la somme des travaux W et des transferts thermiques Q échangés avec le milieu extérieur: $\Delta E_{\text{Totale}} = W + Q$

Exemple. Un moteur thermique reçoit de l'énergie thermique et fournit un travail mécanique

- Or cette même variation de l'énergie totale d'un système au cours d'une évolution est $\Delta E_{\text{Totale}} = \Delta E_M + \Delta U$. Dans le cas particulier d'un système qui ne subit pas de modification du mouvement de son centre d'inertie ni de l'altitude à laquelle il se trouve, la variation de l'énergie mécanique ΔE_M est donc nulle. On aura alors $\Delta E_{\text{Totale}} = \Delta U$
- Au final, on a donc pour un système immobile $\Delta E_{\text{Totale}} = W + Q = \Delta U$

5.2. EXEMPLES.

Exemple 1. De l'usine hydroélectrique à l'usine électrochimique

- L'eau du barrage constitue avec la Terre un réservoir d'énergie potentielle de pesanteur.
- Une partie de l'énergie mécanique du système {Terre + eau} est convertie en travail électrique par les turbines et les alternateurs de l'usine hydroélectrique.
- Les transformateurs, puis les redresseurs de l'usine électrochimique convertissent une partie du travail électrique qu'ils reçoivent des alternateurs... en travail électrique fourni aux cuves à électrolyse: ils transforment une tension alternative en une tension continue nécessaire à l'électrolyse.
- Une partie du travail électrique reçu par les cuves y est emmagasinée sous forme d'énergie chimique lors de la production d'aluminium.

Exemple 2. Une capsule spatiale

- Une capsule spatiale entrant dans l'atmosphère est soumise à des forces de frottement dont le travail a pour conséquence d'augmenter sa température. Elle reçoit donc un travail, compté positivement
- Elle transfère alors de l'énergie vers l'extérieur par conduction et par rayonnement. Ces deux transferts sont comptés négativement.
- Globalement, l'énergie interne de la capsule augmente puisque sa température augmente.

