

# Transferts thermiques.

Application à l'habitat



## 1. L'énergie dans l'habitat.

### 1.1. Energie et puissance.

#### ☺ Relation énergie et puissance.

Un système peut recevoir de l'énergie du milieu extérieur ou en céder. L'énergie reçue par le système est comptée positivement ; l'énergie cédée au milieu extérieur est comptée négativement.

On rappelle qu'une variation de l'énergie  $\Delta E$  pendant un temps  $\Delta t$  peut s'exprimer en fonction de la puissance moyenne de la façon suivante :

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

$\Delta E$  en joules ;  $P$  en Watt ;  $\Delta t$  en secondes

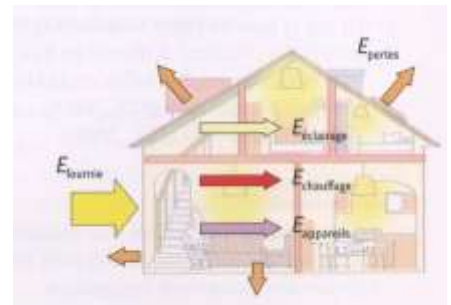
Rappel :  $1 \text{ Wh} = 3600 \text{ J}$

Ex1 : Calculer l'énergie consommée en 10h par un radiateur de puissance 750 W.

#### ☺ Conservation de l'énergie.

On rappelle le principe conservation de l'énergie c'est-à-dire :

$$E_{\text{fournie}} = E_{\text{utile}} + E_{\text{pertes}}$$



### 1.2. Energie et température.

#### ☺ Energie interne.

Tout système possède une énergie interne  $E_{\text{int}}$  qui dépend de la composition du système, de la température et de la pression. Quand la température augmente, la vitesse moyenne des molécules présentes dans le système augmente. On parle d'**agitation thermique** (voir animation flash)

#### ☺ Echelle des températures.

- ✓ L'échelle Celsius à pour référence à pression normal,  $0^\circ\text{C}$  pour la température de fusion de l'eau (eau-glace) et  $100^\circ\text{C}$  pour la température de vaporisation.

Rappel : Sur la Terre, la pression atmosphérique moyenne au niveau de la mer dépend essentiellement de la masse de l'atmosphère, celle-ci pouvant évoluer avec la masse moyenne des gaz à concentration variable comme la vapeur d'eau. Elle varie autour de l'atmosphère normale, soit 1013,25 hPa.

$1 \text{ hPa} = 100 \text{ Pa}$ ,  $1 \text{ bar} = 100\,000 \text{ Pa}$ .

- ✓ L'échelle Kelvin à pour référence l'absence d'agitation thermique.

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

Le zéro absolu correspond à  $\theta = -273^\circ\text{C}$

## ☺ Variation d'énergie interne et capacité thermique massique.

Lorsqu'un système de masse  $m$  subit une variation de température  $\Delta T$  alors son énergie interne varie d'une quantité  $\Delta E_{\text{int}}$  telle que :

$$\Delta E_{\text{int}} = c \cdot m \cdot \Delta T$$

$\Delta E_{\text{int}}$  : variation d'énergie interne en J ;  $m$  : masse en kg ;  $\Delta T$  : variation de température en K ;  
 $c$  : capacité thermique massique du système en  $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

On peut définir la capacité thermique massique comme la quantité d'énergie nécessaire pour augmenter la température d'une masse de 1kg d'un degré ( $^{\circ}\text{C}$  ou K).

Matériau	Béton	Polystyrène	Verre	Eau liquide	Air
C en $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$	900	1360	800	4186	1000

Ex2 : Un sac de douche solaire portatif contient 10 litre d'eau (10kg), Après un temps de d'exposition au soleil, sa température passe de  $20^{\circ}\text{C}$  à  $38^{\circ}\text{C}$ . Calculer l'énergie interne accumulée par le volume d'eau.

Ex3 : On chauffe un litre d'eau contenu dans une casserole sur une plaque électrique de 1500W pendant 3mn. Sa température augmente de  $40^{\circ}\text{C}$ .

Calculer l'énergie électrique consommée.

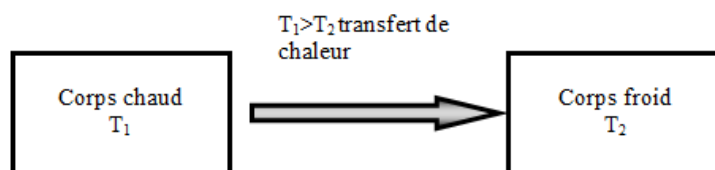
Calculer l'énergie interne accumulée.

Conclure en comparant les résultats obtenus.

## 2. Transferts thermiques.

### 2.1. Les différents modes de transferts de chaleur.

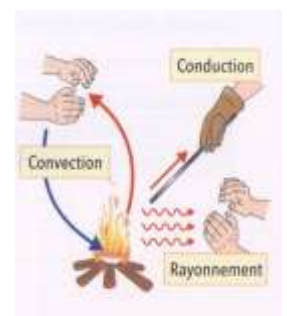
D'après le second principe de la thermodynamique, on peut admettre que la chaleur (ou l'énergie thermique) ne peut passer que d'un corps qui est chaud vers un corps à température plus basse.



Tant que les 2 éléments sont en liaison entre eux, il y a échange de la chaleur jusqu'à ce que les 2 corps soient à la même température ( $T_1 = T_2$ ).

Le transfert d'énergie ou de chaleur mentionné peut de produire selon 3 modes :

Par contact : **la conduction**  
A distance : **le rayonnement**  
Mixte : **la convection**



## 2.2. Quantification des transferts thermiques.

### ☺ Flux de chaleur.

Définition : Le flux de chaleur représente la quantité d'énergie  $Q$  [J] échangée par unité de temps  $t$  [s] on peut l'appeler parfois puissance. Il est noté  $\Phi$  (grand phi) et son unité est le Watt [W].

### ☺ Densité de flux de chaleur

Définition : La densité de flux de chaleur représente le flux de chaleur ramené à l'unité de surface.

$$\varphi = \frac{\Phi}{S}$$

Elle est notée  $\varphi$  (petit phi) et son unité est le  $[W.m^{-2}]$ .

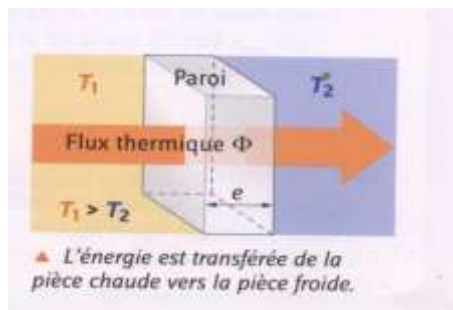
*Cas d'étude : Pour les calculs des flux thermiques, nous utiliserons pour les exemples, le cas d'un bâtiment, où les transferts de chaleur s'effectuent sur ses parois.*

## 2.3. Transfert thermique par conduction.

On ne s'intéresse ici qu'au cas de parois planes de type paroi de bâtiments dans le cadre du régime permanent (pas d'accumulation d'énergie). La loi de FOURRIER permet de relier la valeur du flux de chaleur par conduction traversant un matériau à toutes ses caractéristiques.

Rappel : La valeur du flux de chaleur par conduction à travers une paroi est plus grande si :

- La surface d'échange est importante.
- L'écart de température de part et d'autre de la paroi est grand.
- La nature du matériau est favorable au transfert de chaleur.
- L'épaisseur de la paroi est faible.



$$\Phi_{cd} = \frac{(T_1 - T_2) \times S \times \lambda}{e}$$

$\Phi$ : Flux de chaleur cédé par conduction [W]

$S$ : Surface d'échange en  $[m^2]$

$T_1 - T_2$ : Ecart de température entre les points 1 et 2  $[^{\circ}C]$  ou  $[K]$

$e$ : Epaisseur de la paroi  $[m]$

$\lambda$ : Conductivité  $[W.m^{-1}.K^{-1}]$

### ☺ Coefficient de conductivité thermique.

Définition : Le coefficient de conductivité thermique est une caractéristique physique du matériau qui exprime la capacité d'un corps à conduire la chaleur. Il est noté  $\lambda$  et son unité est le  $[W.m^{-1}.K^{-1}]$

*Remarque : le coefficient de conductivité thermique d'un matériau varie en fonction de plusieurs paramètres tels que la température ou l'humidité. Cependant, cette variation étant faible dans le cadre de nos applications (paroi d'un bâtiment), on le considérera constant.*

### Exemple de valeur de $\lambda$ pour différents matériaux

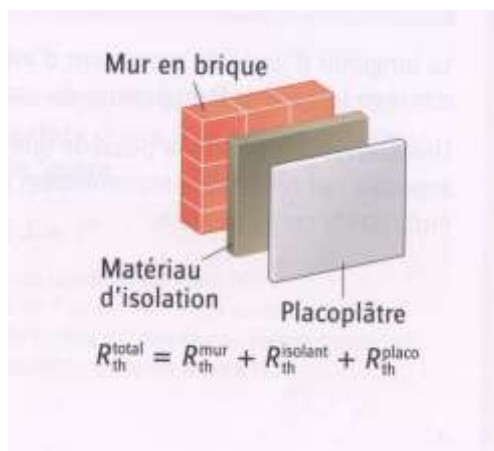
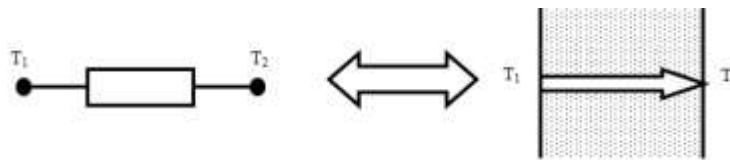
Matériau	Conductivité thermique $\lambda$ [ $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ]
Béton armé	1,75
Laine de verre	0,004
Polystyrène extrudé	0,03
verre	1,2

#### ☺ Résistance thermique.

Définition : La résistance thermique d'un matériau exprime la capacité du matériau à s'opposer au flux de chaleur qui le traverse. Elle est notée  $R_{cd}$  son unité est [ $\text{m}^2.\text{K.W}^{-1}$ ] La résistance thermique pour la conduction est alors équivalente à :

$$R_{cd} = \frac{e}{\lambda}$$

Nous pouvons faire une analogie entre les résistances électriques et les résistances thermiques et le mur peut être schématisé par une résistance.



#### ☺ Coefficient de transmission thermique surfacique.

Bien souvent, la paroi est caractérisée non pas par sa faculté à s'opposer au flux de chaleur mais bien au contraire par son aptitude à laisser passer la chaleur. En d'autre terme, le coefficient de transmission thermique surfacique est l'inverse de la résistance thermique. **Ce coefficient est noté  $U$  son unité est le [ $\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ ] et  $U = 1/R$**

Expression du flux de chaleur :

$$\Phi_{cd} = \frac{(T_1 - T_2) \times S}{R}$$

$$\Phi_{cd} = U \times S \times (T_1 - T_2)$$

## 2.4. Transfert thermique par rayonnement.

### ☺ Puissance de rayonnement.

Un corps porté à une température  $T$  émet un rayonnement électromagnétique. La puissance rayonnée se calcule par la loi de Stefan :

$$\Phi = \sigma \times S \times T^4$$

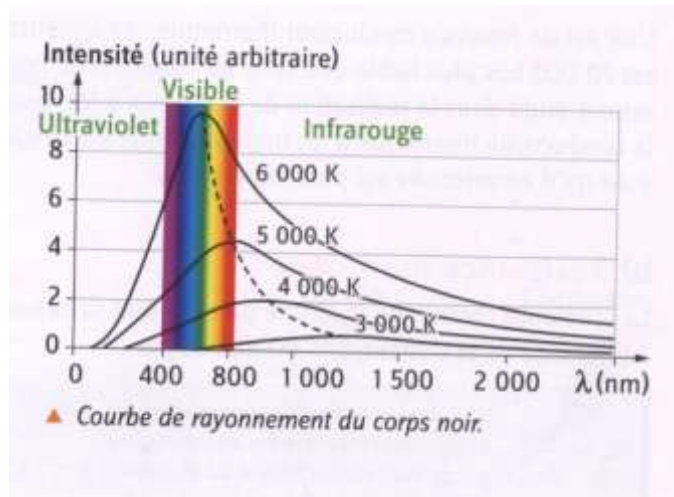
$\Phi$  : Puissance rayonnée en  $W$   
 $\sigma$  :  $5.67 \cdot 10^{-8} W.m^{-2}.K^{-4}$  : constante de Stefan.  
 $S$  : Surface de rayonnement.  
 $T$  : température en  $K$ .

### ☺ Spectre d'émission et température d'un corps.

Le spectre d'émission d'un corps chauffé a une intensité maximale pour une longueur d'onde notée  $\lambda_{Max}$ . La loi de Wien permet de calculer cette longueur d'onde  $\lambda_{Max}$  en fonction de la température  $T$ .

$$\lambda_{Max} = B / T$$

$\lambda_{Max}$  : longueur d'onde en mètres  
 $T$  en  $K$   
 $B = 2,9 \cdot 10^{-3} K.m$  : constante de Wien



Une couverture de survie possède une surface qui réfléchit le rayonnement infrarouge émis par le corps humain.

## 2.4. Transfert thermique par convection (voir fiche annexe).