

Transfert d'énergie par conduction thermique

Les différents modes de transferts thermiques

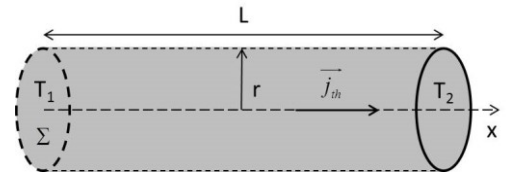
Conduction thermique (ou diffusion thermique) : mode de transfert thermique provoqué par une différence de température entre deux régions d'un même milieu se réalisant **sans déplacement global de la matière** (due à l'**agitation thermique** des atomes et molécules du milieu).

Convection thermique : attribuée à un déplacement global de matière et concerne les liquides ou les gaz (naturelle ou forcée).

Rayonnement thermique : ne nécessite pas la présence d'un milieu matériel (ex : entre le Soleil et la Terre sous forme d'ondes électromagnétiques).

Vecteur densité de flux thermique

Hypothèses : conduction thermique dans un solide (de longueur L et de surface transversale $\Sigma = \pi r^2$) dans le cas d'un problème unidimensionnel selon (Ox) .



Définition :

Flux thermique $\Phi(x, t)$ ou puissance thermique (en W) : quantité d'énergie élémentaire $\delta Q(x, t)$, aussi appelée transfert thermique, qui traverse la surface Σ par unité de temps.

$$\Phi(x, t) = \frac{\delta Q(x, t)}{dt}$$

Vecteur densité de flux thermique (en W.m^{-2}) : sa direction est celle du déplacement de proche en proche de l'énergie thermique et sa norme est d'autant plus grande que la quantité d'énergie déplacée est grande.

$$j_{th}(x, t) = \frac{\Phi(x, t)}{\Sigma}$$

Remarque : En 3D : $\Phi = \iint_{\Sigma} \vec{j}_{th} \cdot d\vec{S}$

Loi de Fourier (loi phénoménologique, 1822) :

Elle lie la température à l'intérieur du solide $T(x, t)$ et la densité de flux thermique à l'aide d'un coefficient de proportionnalité λ appelé **conductivité thermique** ($\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$).

$$j_{th}(x, t) = -\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)$$

En 3D :

$$\vec{j}_{th} = -\lambda \vec{\text{grad}}(T)$$

Remarques :

$\lambda > 0$

Le signe moins traduit l'orientation du vecteur densité de flux thermique vers les basses températures.

On définit le gradient en coordonnées cartésiennes par : $\vec{\text{grad}}(T) = \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \vec{u}_x + \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right) \vec{u}_y + \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right) \vec{u}_z$

Équation de la chaleur

Solide homogène de masse volumique μ , de conductivité thermique λ et de capacité thermique massique c

Bilan enthalpique : $\frac{\partial j_{th}}{\partial x} + c\mu \frac{\partial T}{\partial t} = 0$

Equation de la diffusion thermique :

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \frac{c\mu}{\lambda} \frac{\partial T}{\partial t} = 0$$

Remarques :

Coefficient de diffusion : $D = \frac{\lambda}{c\mu}$ de dimension : $\frac{[\text{longueur}]^2}{[\text{temps}]}$. Donc $\tau \sim \frac{L^2}{D}$

Propriété :

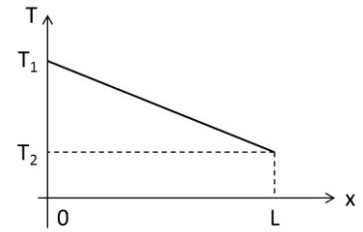
Un phénomène de diffusion thermique est **irréversible**. Il s'accompagne de production d'entropie.

Cas du régime stationnaire

Régime stationnaire : la température ne dépend plus du temps

$$\frac{\partial T}{\partial t} = 0 \Rightarrow \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0 \Rightarrow T(x) = \frac{T_2 - T_1}{L}x + T_1 \Rightarrow \Phi = j_{th}\Sigma = \lambda \Sigma \frac{T_1 - T_2}{L}$$

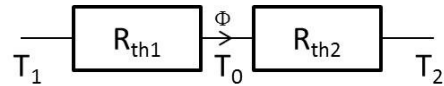
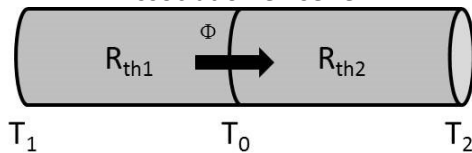
On remarque que le flux thermique est constant.



Définition : résistance thermique R_{th} (en $K.W^{-1}$)

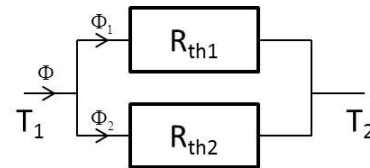
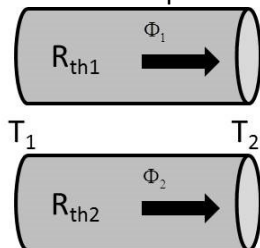
$$R_{th} = \frac{T_1 - T_2}{\Phi} = \frac{L}{\lambda S}$$

Association en série



$$R_{th1+2} = R_{th1} + R_{th2}$$

Association en parallèle



$$R_{th1\parallel 2} = \frac{R_{th1}R_{th2}}{R_{th1} + R_{th2}}$$

Analogie :

Electrique	Thermique
Potentiel V	Température T
Courant I	Flux thermique Φ
Conductivité électrique σ	Conductivité thermique λ
Loi d'Ohm locale $\vec{j} = -\sigma \overrightarrow{grad}V$ ou $\vec{j} = \sigma \vec{E}$	Loi de Fourier $\vec{j}_{th} = -\lambda \overrightarrow{grad}T$

Transfert conducto-convectif

Matériau étudié en contact avec un milieu extérieur fluide de température T_0 , animé de mouvements de convection

Loi de Newton :

La densité de flux thermique sortant à travers la surface du solide en contact avec le fluide est proportionnelle à l'écart entre la température T_S de la surface du solide et la température T_0 du fluide :

$$j_N = h(T_S - T_0)$$

h : coefficient de transfert thermique de surface ($W.m^{-2}.K^{-1}$)

Résistance thermique : $R_N = \frac{T_S - T_0}{\Phi_N} = \frac{1}{hS}$

