

Diffusion thermique

I. Les différents transferts thermiques

Conduction (ou diffusion) thermique

Il s'agit d'un transport d'énergie au travers d'un milieu matériel solide ou fluide.

A l'échelle microscopique, l'énergie est transmise par les chocs entre atomes ou molécules, les zones de températures élevées ayant une énergie plus importante vont la transmettre aux zones de températures plus faibles.

Convection thermique

Le transfert est alors dû à un déplacement macroscopique de la matière.

Cette convection sera naturelle si la matière est un gaz car le gradient de température entraînera ce phénomène de convection, mais on peut également créer la convection (à l'aide d'un ventilateur par exemple)

Rayonnement

Nous recevons de l'énergie du soleil, et pourtant le vide nous sépare. Il existe donc un transport d'énergie à travers le vide, par l'intermédiaire d'un champ électromagnétique. On parlera alors d'émission thermique (par le soleil, une flamme ...)

On étudie les phénomènes de conduction dans un milieu

- ✓ de capacité thermique massique c
- ✓ de masse volumique ρ

II. Flux thermique

Flux thermique

Pour un transfert thermique à travers une surface Σ et pendant une durée élémentaire dt , le flux thermique est tel que

$$\delta Q = \Phi(t).dt = \iint_{\Sigma} \vec{j}_{th} \cdot \vec{dS}.dt$$

$\vec{j}_{th}$ est le vecteur densité de courant thermique, traduisant le transfert d'énergie à travers une unité de surface et par unité de temps.



Loi de Fourier

La densité de courant thermique $\vec{j}_{th}$ est donnée par la loi de Fourier

$$\vec{j}_{th}(P, t) = -\lambda \cdot \overrightarrow{\text{grad}}(T(P, t))$$

avec λ la *conductivité thermique*, grandeur caractéristique milieu, exprimée en $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$



Ordres de grandeur à connaître :

matériau	air	laine de bois	verre	béton	acier	alu
$\lambda \text{ (W.K}^{-1}\text{.m}^{-1}\text{)}$	0,025	0,04	1,0	2,0	14	220

III. Bilan d'énergie et équation de la diffusion

1. Bilan d'énergie

Méthode - Bilan global en régime permanent

- ✓ Définir un volume en fonction de la géométrie du système, où l'on peut définir un flux entrant et/ou un flux sortant
- ✓ Exprimer les flux sortant et/ou entrant, ainsi que, éventuellement, la puissance créée ou disparue dans le volume
- ✓ Exploiter le premier principe de la thermodynamique

On peut ainsi montrer que pour un tube de courant $\Phi_e = \Phi_s$

Méthode - Bilan local en régime quelconque

- ✓ Définir un volume élémentaire le plus grand possible où on peut considérer $T(M, t)$ uniforme, étudié pendant une durée dt .
- ✓ Exprimer les transferts thermiques élémentaires sortant et entrant, ainsi que, éventuellement, l'énergie créée ou disparue dans le volume pendant la durée dt
- ✓ Exprimer la variation de l'énergie interne du volume pendant la durée dt
- ✓ Exploiter le premier principe de la thermodynamique

Bilan local dans le cas général

Pour une géométrie quelconque, et en notant $\mathcal{P}_c$ la puissance volumique créée (algébriquement) dans le milieu, le bilan énergétique se traduit par la relation

$$\rho.c. \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div } \vec{j} = \mathcal{P}_c$$

2. Équation de la diffusion

- ✓ L'équation de la diffusion n'a d'intérêt qu'en régime non stationnaire.
- ✓ L'équation est obtenue en exploitant le **bilan local** d'énergie et la **loi de Fourier**.

Équation de la diffusion

Pour une géométrie quelconque, et en notant $\mathcal{P}_c$ la puissance volumique créée (algébriquement) dans le milieu

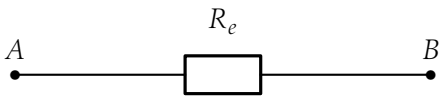
$$\frac{\partial T}{\partial t} - \frac{\lambda}{\rho.c.} \Delta T = \frac{1}{\rho.c.} \mathcal{P}_c$$

Méthode - Évaluer une longueur de diffusion

- ✓ Écrire l'équation de la diffusion
- ✓ Identifier à la forme canonique afin d'obtenir $D = \frac{\lambda}{\rho.c.}$

✓ Par analogie à l'étude menée en diffusion des particules, l'analyse dimensionnelle donne $L = \sqrt{D \cdot \tau}$

IV. Régimes stationnaires en l'absence de source

Électricité	Transfert thermique
	
Potentiel V	T
Intensité I	Φ
Résistance $R_e = \frac{V_A - V_B}{I}$	$R_{th} = \frac{T_A - T_B}{\Phi}$

Résistance thermique

Les résistance R_{th} et conductance G_{th} thermique en régime stationnaire permanent d'un système maintenu entre deux températures T_A et T_B est telle que

$$R_{th} = \frac{1}{G_{th}} = \frac{T_A - T_B}{\Phi}$$

- ✓ Identifier les grandeurs thermiques aux grandeurs électriques
- ✓ Rappeler la loi d'Ohm
- ✓ En déduire par analogie l'expression de la résistance thermique

Méthode - Résistance d'un barreau

On considère un barreau de section S , de longueur L et de conductivité thermique λ

- ✓ Déterminer à partir d'un bilan global l'expression de $\vec{j}$ dans le barreau, en déduire Φ
- ✓ Identifier à la définition de la résistance thermique pour en déduire son expression $R_{th} = \frac{L}{\lambda \cdot S}$

Associations

Deux systèmes sont associés en série s'ils sont traversés par le même flux thermique :

$$R_{th(eq)} = \sum_i R_{thi}$$

Deux systèmes sont associés en parallèle si leurs extrémités sont aux mêmes températures :

$$\frac{1}{R_{th(eq)}} = \sum_i \frac{1}{R_{thi}}$$