

Chapitre 4 : Conduction thermique

I. Rappels

1. Les différents types de transferts thermiques

Il existe trois grands types de transferts thermiques :

- **Transferts convectifs** : transfert thermique, propre aux fluides, associé à un mouvement macroscopique de la matière.
- **Transferts par rayonnement** : transfert thermique véhiculé par les ondes électromagnétiques ne nécessitant aucun support matériel (possible dans le vide ou dans un milieu transparent).
- **Transferts conductifs** : transfert thermique au sein d'un support matériel sans mouvement macroscopique de la matière. Ce phénomène met en jeu des chocs (pour un fluide) ou des vibrations (pour un solide). On parle de conduction thermique ou de diffusion thermique par conduction. C'est un phénomène irréversible. La conduction (diffusion) thermique a pour origine l'inhomogénéité de la température T au sein du milieu matériel. L'énergie thermique est transportée des régions les plus chaudes vers les régions les plus froides : il existe un flux thermique orientée dans le sens des températures décroissantes.

2. Grandeurs caractéristiques

- **Flux thermique** :

$$\Phi_{th} = P_{th} = \frac{\delta Q}{dt} \quad \text{en } W$$

- **Résistance thermique** :

$$R_{th} = \frac{\Delta T}{\Phi_{th}} \quad \text{en } K \cdot W^{-1}$$

Conduction thermique - Géométrie unidimensionnelle

$$R_{cond} = \frac{L}{\lambda S} \quad \text{en } K \cdot W^{-1}$$

λ : conductivité thermique (en $W \cdot K^{-1} \cdot m^{-1}$)

- **Flux thermique conducto-convectif : Loi de Newton**

A l'interface (généralement) entre un solide (T_S) et un fluide (T_E)

$$\varphi_{cc} = h(T_S - T_E) \quad \text{en } W \cdot m^{-2}$$

$$\Phi_{cc} = hS(T_S - T_E) \quad \text{en } W$$

h est le coefficient d'échange ou de transfert conducto-convectif (en $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)

- **Flux thermique rayonné par un corps noir**

→ expressions fournies

Loi de déplacement de Wien

$$\lambda_{max} T = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot K (= \text{cste})$$

Loi de Stefan-Boltzmann

$$\varphi = \sigma T^4 \quad \text{en } W \cdot m^{-2}$$

$$\Phi_r = \sigma T^4 S \quad \text{en } W$$

II. Modèle phénoménologique de la conduction thermique

1. Loi de Fourier

A travers une surface S plane (diffusion axiale (suivant un axe (Ox)) :

Schéma :

- Loi générale pour une conduction thermique axiale (suivant (Ox)) :

Avec λ : conductivité thermique en

à T et P ambiantes : $\lambda_{air} = 0,026 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ $\lambda_{eau} = 0,60 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ $\lambda_{metal} = 30 - 500 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

- Loi en régime stationnaire ou quasi-stationnaire :

- Interprétation :

- $\frac{dT}{dx}$:

« signe → » :

	$\frac{dT}{dx} > 0$	$\frac{dT}{dx} < 0$	$\frac{dT}{dx} = 0$

- Paramètre physique λ :
- Paramètre géométrique S et L :

2. Généralisation

A travers une surface sphérique ou cylindrique (diffusion radiale) :

3. Coefficient de diffusivité thermique

Pour caractériser la vitesse à laquelle la chaleur se propage, par conduction, dans un matériau, on utilise le coefficient de diffusivité thermique D_{th} (analogue au coefficient de diffusion D , dans le cas de la diffusion de particules).

- **Coefficient de diffusivité thermique :** $D_{th} = \frac{\lambda}{\mu c}$

λ : conductivité thermique

c : capacité thermique massique

μ : masse volumique μ

- **Analyse dimensionnelle :**

- **Loi d'échelle :**

τ : temps caractéristique de la diffusion

ℓ : distance caractéristique de la diffusion ou extension spatiale

Relation entre D_{th} , τ et ℓ (par analyse dimensionnelle) :

Exemple :

III. Bilan d'énergie en REGIME STATIONNAIRE ou QUASI-STATIONNAIRE**1. Système d'étude****2. Bilan d'énergie****3. En absence de sources internes (= absence de création ou de perte de chaleur) pour un système siège uniquement d'un phénomène de conduction thermique****a) Conservation du flux**

- Transfert thermique (algébrique : >0 ou <0) par conduction thermique en x : δQ_e
- Transfert thermique (algébrique) par conduction thermique en $x + dx$: δQ_s
- Bilan sur le flux en régime stationnaire :

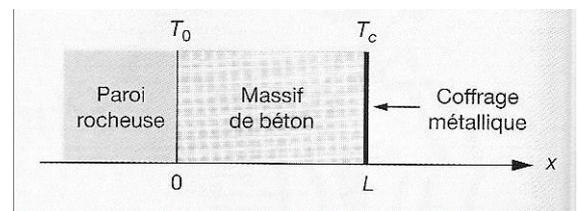
b) Application 1 : Profil de température – cas d'une conduction thermique axiale à travers une section plane constante

c) **Application 2 : Résistance thermique R_{th} conductive (ou de conduction) – cas d'une conduction thermique axiale à travers une section plane constante**

Rappel :
$$R_{th} = \frac{T_{amont} - T_{aval}}{\Phi_{th}}$$

4. En présence de sources internes

- Pour consolider une paroi rocheuse, plane de surface S et isotherme de température T_0 , on coule un massif de béton, de conductivité thermique λ . Ce massif est limité de l'autre côté par un coffrage métallique, plan, de température uniforme $T_c < T_0$. Le coffrage est supposé très bon conducteur de la chaleur.
- La prise du béton correspond à une réaction chimique exothermique qui fournit de l'énergie à la masse de béton : on note φ la puissance volumique thermique fournie à la masse de béton.



- **Système** = tranche de section S (constante) et d'épaisseur dx , entre t et $t+dt$

- Transfert thermique (algébrique : >0 ou <0) par conduction thermique en x : δQ_e
- Transfert thermique (algébrique : >0 ou <0) par conduction thermique en $x + dx$: δQ_s
- Transfert thermique apporté par la réaction chimique : δQ_a
- En régime stationnaire :
- Equation différentielle en Φ_{th} :

- **Equation différentielle en T :**

- **Champ de température $T(x)$:**

Les questions à se poser à l'issue de ce chapitre

Cours de 1^{ère} année

- Est-ce que je connais les trois types de transfert thermique ?
- Est-ce que je sais exploiter les lois de Newton, de Wien et de Stefan-Boltzmann ?
- Est-ce que je sais effectuer un bilan d'énergie pour un système incompressible et indilatable en contact avec un thermostat, dans le but d'établir l'équation différentielle vérifiée par la température du système ?

Loi de Fourier

- Est-ce que je sais écrire la loi phénoménologique de Fourier donnant le flux thermique à travers une surface plane, cylindrique ou sphérique, adaptée à la géométrie ?
- Est-ce que je sais citer le nom des différentes grandeurs apparaissant dans la loi et donner (ou retrouver) leur unité ?

Bilan d'énergie en régime stationnaire ou quasi-stationnaire

- Est-ce que je sais sur quel système dois-je réaliser le bilan d'énergie ?
- Est-ce que je sais quel principe thermodynamique je dois utiliser ?
- En absence de sources internes, est-ce que je sais ce que je dois trouver sur le flux ?
- Est-ce que je sais comment tenir compte des sources internes ?
- Est-ce que je connais la méthode pour déterminer l'expression de la résistance thermique conductive ?

Loi d'échelle

- Est-ce que je sais justifier par analyse dimensionnelle (et exploiter) la relation exprimant le coefficient de diffusivité thermique en fonction de la conductivité thermique, de la masse volumique et de la capacité thermique massique ?
- Est-ce que je sais justifier par analyse dimensionnelle (et exploiter) la loi d'échelle liant les échelles caractéristiques spatiales et temporelles et le coefficient de diffusivité thermique ?