

Introduction aux Transferts de Chaleur

Par CISSE Ibrahim

Table des matières

1	Introduction	3
2	Conduction	3
2.1	Loi de Fourier	3
2.2	Équation de la Chaleur	3
3	Convection	4
3.1	Loi de Newton pour le Refroidissement	4
3.2	Nombres sans Dimension	4
4	Rayonnement	5
4.1	Loi de Stefan-Boltzmann	5
4.2	Échange Net entre Deux Surfaces	5

1 Introduction

Le transfert de chaleur traite du mouvement de l'énergie thermique d'un point à un autre suite à une différence de température. La connaissance de ces mécanismes est cruciale pour la conception et l'optimisation des systèmes énergétiques, des structures et des équipements. Il existe trois modes fondamentaux de transfert : la **conduction**, la **convection** et le **rayonnement**.

2 Conduction

La conduction est le mode de transfert de chaleur au sein d'un corps opaque ou entre deux corps en contact physique. Ce transfert est dû à l'agitation microscopique des molécules et des électrons libres qui se transmettent l'énergie thermique de proche en proche par vibration.

2.1 Loi de Fourier

Le flux de chaleur ϕ est défini comme le taux de transfert d'énergie thermique par unité de surface. La loi de Fourier indique une proportionnalité du flux au gradient de température.

$$\phi = -k\nabla T \quad (1)$$

Où :

- ϕ est le vecteur densité de flux de chaleur (W/m^2).
- k est la **conductivité thermique** du matériau ($\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$).
- ∇T est le gradient de température (K/m).

2.2 Équation de la Chaleur

Cette équation fondamentale décrit comment la température T évolue dans le temps t et l'espace. En 3D et en régime transitoire sans source de chaleur interne :

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (k \nabla T) \quad (2)$$

En régime permanent (stationnaire) et avec k constant, elle se simplifie en Équation de Laplace :

$$\nabla^2 T = 0$$

Exemple Résolu 1.1 : Mur Plan

Un mur plan d'épaisseur e et de conductivité k maintient des températures T_1 et T_2 sur ses faces. Le flux de chaleur \dot{Q} traversant une surface A en régime permanent est donné par :

$$\dot{Q} = \frac{kA}{e}(T_1 - T_2) = \frac{\Delta T}{R_{\text{cond}}} \quad (3)$$

Où la résistance thermique de conduction est $R_{\text{cond}} = \frac{e}{kA}$.

3 Convection

La convection est le transfert de chaleur entre une surface solide et un fluide en mouvement (liquide ou gaz). C'est un phénomène combiné de diffusion (conduction à l'échelle microscopique) et de transport par le mouvement du fluide.

3.1 Loi de Newton pour le Refroidissement

Cette loi permet de quantifier le flux de chaleur transféré par convection :

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = hA(T_s - T_\infty) \quad (4)$$

Où :

- \dot{Q}_{conv} est la puissance transférée (W).
- h est le **coefficent de transfert thermique par convection** ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$).
- T_s est la température de la surface (K).
- T_∞ est la température du fluide loin de la surface (K).

3.2 Nombres sans Dimension

Le coefficient h est empirique et dépend fortement des conditions d'écoulement, il est souvent déterminé à l'aide de corrélations impliquant des nombres sans dimension :

- **Nombre de Prandtl** (Pr) : Relie les diffusivités cinématique et thermique.
- **Nombre de Nusselt** (Nu) : Représente l'amélioration du transfert de chaleur par convection par rapport à la conduction pure.

$$\text{Nu} = \frac{hL}{k_{\text{fluide}}} = f(\text{Re}, \text{Pr}) \quad (5)$$

Exemple Résolu 2.1 : Résistance de Convection

De l'air à $T_\infty = 25^\circ\text{C}$ circule au-dessus d'une plaque chauffée. Le coefficient $h = 20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Calculez la résistance thermique de convection pour une surface $A = 0.5 \text{ m}^2$.

Solution : La résistance thermique de convection est $R_{\text{conv}} = \frac{1}{hA}$.

$$R_{\text{conv}} = \frac{1}{20 \times 0.5} = \frac{1}{10} = 0.1 \text{ K/W} \quad (6)$$

4 Rayonnement

Le rayonnement est le transfert d'énergie par ondes électromagnétiques. Il ne nécessite pas de support matériel et est le seul mode de transfert opérant dans le vide.

4.1 Loi de Stefan-Boltzmann

Cette loi décrit la puissance totale émise par une surface noire (corps noir, $\varepsilon = 1$) par unité de surface :

$$E_b = \sigma T^4 \quad (7)$$

Où :

- E_b est le pouvoir émissif du corps noir (W/m^2).
- σ est la **constante de Stefan-Boltzmann** ($\sigma \approx 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^4)$).
- T est la température absolue (K).

4.2 Échange Net entre Deux Surfaces

L'échange net d'énergie radiative entre deux surfaces noires (ou grises dans un cas simplifié) à T_1 et T_2 peut être exprimé comme :

$$\dot{Q}_{\text{ray}} = F_{12}A_1\sigma(T_1^4 - T_2^4) \quad (\text{Pour deux corps noirs}) \quad (8)$$

Où F_{12} est le **facteur de forme** (ou facteur de vue) qui quantifie l'échange géométrique entre les deux surfaces.

Exemple Résolu 3.1 : Émission d'un Corps Gris

Une surface en aluminium ($\varepsilon = 0.1$) est chauffée à 227°C. Calculez son pouvoir émissif E .

Solution : 1. Convertir la température en Kelvin : $T = 227 + 273.15 = 500.15 \text{ K}$. 2. Appliquer la loi pour un corps réel : $E = \varepsilon\sigma T^4$

$$E = 0.1 \times (5.67 \times 10^{-8}) \times (500.15)^4 \quad (9)$$

$$E \approx 354.6 \text{ W/m}^2 \quad (10)$$