

plan du cours de thermodynamique

TRANSFERTS D'ÉNERGIE THERMIQUE

I) MODES DE TRANSFERTS D'ÉNERGIE : CONDUCTION THERMIQUE, CONVECTION, RAYONNEMENT :

définition : un transfert thermique est un transfert d'énergie s'effectuant sans échange de travail

1) Transferts conductifs : diffusion conductive :

définition : la conductibilité thermique d'un matériau est l'aptitude de ce matériau à transmettre de l'énergie sans mouvement macroscopique

définition : la conduction thermique ou diffusion conductive thermique est le transfert d'énergie dû à la conductibilité thermique

2) Transferts convectifs : convection :

définition : la convection est le transfert d'énergie dû aux transferts de matière macroscopiques engendré par l'existence d'un gradient de température au sein d'un fluide

remarque : on distingue la convection naturelle et la convection forcée

3) « Transferts » par rayonnement :

les corps peuvent émettre, réfléchir ou absorber des rayonnements électromagnétiques : à ces phénomènes sont associés des transferts thermiques (voir le chapitre suivant)

II) LES FLUX D'ÉNERGIE :

1) Remarque générale préliminaire

2) Flux (surfacique) d'énergie :

définition : si de l'énergie est transmise à travers une surface élémentaire $dS(M)$ dans la direction et le sens du vecteur $u = n(M)$, alors on appelle flux (surfacique) de puissance (on dit souvent, abusivement : d'énergie) la puissance $\phi_n(M, t)$ par unité de surface traversant $dS(M)$ dans le sens de $n(M)$

3) Vecteur densité de courant d'énergie :

définition : si, en un point M , à l'instant t , de la puissance se déplace dans la direction et le sens du vecteur unitaire $u(M, t)$, alors on définit le vecteur $j(M, t)$ densité (volumique) de courant d'énergie par :

$$j(M, t) = \varphi_u(M, t)u(M, t)$$

interprétation physique de $j(M, t)$: le flux (au sens mathématique du terme) du vecteur $j(M, t)$ à travers une surface quelconque est égal à la puissance traversant cette surface dans le sens (qualitatif) de l'orientation choisie pour cette surface

4) Densité volumique d'énergie :

théorème (équation de conservation de l'énergie) : si $u(M, t)$ est la densité volumique d'énergie et si $j(M, t)$ est le vecteur densité volumique de courant d'énergie, alors : $\operatorname{div}(j) + \frac{\partial u}{\partial t} = 0$

5) Analogie avec l'électromagnétisme

II) ÉTUDE DE LA DIFFUSION CONDUCTIVE :

1) Loi de Fourier :

loi de Fourier : $j^{cd}(M, t) = -\lambda \cdot \operatorname{grad}(T(M, t))$
 où : $\lambda = \text{cte positive} = \text{conductivité thermique du matériau}$

2) Analogie avec la diffusion de particules :

loi de Fick : $j^n(M, t) = -D \cdot \operatorname{grad}(n(M, t))$
 où : $j^n(M, t) = \text{densité volumique de courant de particules}$
 $D = \text{cte positive} = \text{diffusivité du milieu}$

3) Analogie avec la conduction électrique :

loi d'Ohm : $j^q(M, t) = \sigma E(M, t) = -\sigma \cdot \operatorname{grad}(V(M, t))$
 où : $j^q(M, t) = \text{densité volumique de courant de charge ou électrique}$
 $\sigma = \text{cte positive} = \text{conductivité électrique du matériau}$

4) Exemples numériques

5) Équation de la chaleur en l'absence de source de chaleur au sein du matériau :

a) Problème à une dimension :

théorème (équation de la chaleur) :
$$\frac{\partial T}{\partial t} = K \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

où :
$$K = \frac{\lambda}{\mu c} = \text{diffusivité thermique}$$

b) Problème à trois dimensions :

théorème (équation de la chaleur) :
$$\frac{\partial T}{\partial t} = K \cdot \Delta T$$

où :
$$K = \frac{\lambda}{\mu c} = \text{diffusivité thermique}$$

6) Équation de la chaleur en présence d'une source de chaleur au sein du matériau :

a) Problème à une dimension :

théorème (équation de la chaleur) :
$$\frac{\partial T}{\partial t} = K \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{1}{\mu c} P_v(x, t)$$

où :
$$K = \frac{\lambda}{\mu c} = \text{diffusivité thermique}$$

p = puissance volumique créée au sein du matériau

b) Problème à trois dimensions :

théorème (équation de la chaleur) :
$$\frac{\partial T}{\partial t} = K \cdot \Delta T + \frac{1}{\mu c} P_v(M, t)$$

où :
$$K = \frac{\lambda}{\mu c} = \text{diffusivité thermique}$$

p = puissance volumique créée au sein du matériau

7) Résolution de l'équation de la chaleur dans le cas général :

a) Méthode générale :

il faut connaître :

- * la condition initiale $T(M, t=0)$, en tout point M
 - * les conditions aux limites $T(M \text{ sur la surface délimitant le système }, t)$, à tout instant t
- la solution dépend alors fondamentalement des conditions ci-dessus

b) Remarque fondamentale : comparaison des rôles des variables de temps et d'espace

8) Résolution de l'équation de la chaleur dans le cas stationnaire ; conductance thermique

conduction thermique

$$\Phi_s^{cd} = G_{th}^{cd} \cdot (T_0 - T_1)$$

conduction électrique

$$I = G \cdot (V_0 - V_1)$$

IV) TRANSFERT THERMIQUE CONDUCTO - CONVECTIF A TRAVERS UNE PAROI :

1) Couplage conducto-convectif :

théorème : le flux d'énergie conducto-convectif à travers une paroi est : $\phi_{paroi} = -h \cdot (T_{paroi} - T_{fluide})$

où : h = coefficient de transmission thermique de surface

2) Conductance thermique conducto-convective

3) Application : amélioration des transferts thermiques conducto-convectifs