LP 22 : Transferts thermiques

Niveau : supérieur

Prérequis : - transport thermique qualitatif (L1)
- conduction électrique : (L2)
loi d'Ohm locale, flux électrique, vecteur densité de courant et loi d'Ohm, association de R.
- échelle macro et micro (L1)
- Thermodynamique (L1)

Intro péda : → En L1 : transferts thermiques étudiés qualitativement lors du thème thermodynamique.
→ On reviendra qu'en rappel sur ces termes.
→ Niveau BCPST 2 dans le thème phénomènes de transport. On insiste sur la conduction thermique et on va faire le lien avec la conduction électrique.
⇒ construction du modèle par analogie.
→ Le rayonnement n'est pas abordé en cours car déjà vu en L1 mais les connaissances seront réinvesties en TD.

Objectif : construction de modèle par analogie

TD : étude radiale, prise en compte de phénomène de création.

TP : barre de cuivre.

Intro : → Rappel : $\Delta U = Q + W$
↳ transfert thermique.

→ 3 modes de transfert

Slide avec les 3 modes + définition

| Expérience : Tube en U

→ On se concentre sur la diffusion thermique.

Objectifs : – Faire l'analogie en conduction thermique et électrique
– Faire un bilan d'énergie

I_ Equation locale de la chaleur.

A) conductivité thermique.

| Expérience : barre dans l'eau chaude, mesure de T avec thermocouple

→ Phénomène de conduction dépend du matériau considéré

conducteur caractérisé par : conductivité λ en $W.m^{-1}.K^{-1}$ (micro)
résistance thermique R_{th} en $K.W^{-1}$ (macro)

Tableau de λ

⇒ termes qui font écho à l'électricité.

→ Analogie GRECIAS 2 p. 155

⇒ $\vec{j} = \sigma\vec{E} = -\sigma\,\vec{\text{grad}}\,V \longleftrightarrow \vec{j}_{th} = -\lambda\,\vec{\text{grad}}\,(T)$
Loi de Fourier (1822)

Tr : Fourier permet de relier flux thermique à T. Mais le flux thermique est relier à l'énergie interne par le 1er principe.

B) Bilan local d'énergie

→ Hypothèse : – unidimensionnel
– pas de mouvement macro
– système fermé et indéformable, calorifugé

GRECIAS p. 157

$$\Rightarrow \frac{\partial T}{\partial t} = \underbrace{\frac{\lambda}{\mu c}}_{D_{th}} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \underbrace{\frac{\dot{\sigma}}{\mu c}}_{=0}$$

↳ diffusivité thermique (m^2s^{-1})

→ Etude en ordre de grandeur : $D \approx \frac{L^2}{\tau}$ ⇒ si D ↘, τ ↗

Tr : Résolution non aisée. On va étudier le cas stationnaire

II. Résolution en régime stationnaire.

A) Solution de l'équation.

→ Stationnaire : $\frac{\partial T}{\partial t} = 0$

→ Conditions aux limites : $T(0) = T_1$ et $T(L) = T_2$

$\Rightarrow \quad T(x) = \frac{T_2 - T_1}{L} x + T_1$

Expérience : Barre de cuivre calorifugé. Utiliser celle avec ventillateur.
$T = f(x)$ FRUCHART p. 384

Tr : En 1er année, vous avez vu la notion de résistance thermique.
On va revenir sur le calcul.

B) Résistance thermique

→ Analogie avec l'élec : $U = \Delta V \leftrightarrow \Delta T$, $I \leftrightarrow \Phi_{th}$ $\Big\}$ $R_{th} = \frac{\Delta T}{\Phi_{th}} = \frac{L}{\lambda S}$

→ Association de résistance, comme en electricité :

- en série : $R_{eq} = \sum_i R_i$
- en parallèle : $1/R_{eq} = \sum_i \frac{1}{R_i}$

→ Application au double vitrage : GRECIAS p. 162

- vitre en verre de longueur ℓ : $R_{th} = \frac{\ell}{\lambda S} \Rightarrow \Phi = \frac{\Delta T}{\ell} \lambda S$
- vitre en verre $(\frac{\ell}{2})$, séparées par $\frac{\ell}{2}$ air : $R'_{th} = \frac{\ell}{\lambda S} + \frac{\ell}{2\lambda_a S} \Rightarrow \Phi' = \frac{\Delta T}{\ell} S \frac{1}{\frac{1}{\lambda} + \frac{1}{2\lambda_a}}$

Donc $\frac{\Phi}{\Phi'} = 1 + \frac{\lambda}{2\lambda_a} \underset{\text{A.N.}}{=} 20$ ⇒ double vitrage 20 x plus isolant

Tr : On a considéré un système calorifugé mais dans la vie réelle, il y a des échanges thermiques avec l'extérieur.

III - Prise en compte de la convection.

→ Cas de l'ailette de refroidissement (slide avec transfert)

⇒ convection avec l'air ambiant

→ Modélisation par une loi conducto-convectif :

$$d\phi_{cc} = j_{cc}\, dS_e = h(T(x) - T_e)\,dS_e$$

h ↓ coefficient conducto-convectif ($W.m^{-2}.K^{-1}$)

→ Bilan : Fais sur slide

$$\Rightarrow \frac{d^2\theta}{dx^2} - \frac{2h}{\lambda R}\theta = 0 \quad \text{avec } \theta = T(x) - T_e$$

$$\Rightarrow \theta(x) = \theta_0 e^{-x/\delta} \quad \text{avec } \delta = \sqrt{\frac{\lambda R}{2h}}$$

GRECIAS p. 164

→ Le refroidissement est plus rapide

Conclusion : → Retour sur l'analogie

→ Modèle pour décrire la convection

Ouverture : diffusion de particules faite aussi par analogie

Biblio : - GRECIAS BCPST 2
- J'INTEGRE PC/PC*
- PEREZ thermodynamique
- FRUCHART