

D2-Cours

Diffusion thermique

Notions clés du chapitre. Modes de transfert thermique. Vecteur densité de flux thermique \vec{j}_Q . Équation de conservation de l'énergie (premier principe). Loi phénoménologique de Fourier. Équation de diffusion thermique. Régime stationnaire unidimensionnel et résistance thermique.

Dans ce cours, on fait (pour la première et unique fois!) de la **thermodynamique hors-équilibre**, dans le cadre de l'équilibre thermodynamique local.

Table des matières

1 Transfert thermique	1
1.1 Les trois modes de transfert thermique	1
1.2 Équilibre thermodynamique local	1
1.3 Énergie interne massique	2
1.4 Vecteur densité de flux thermique	2

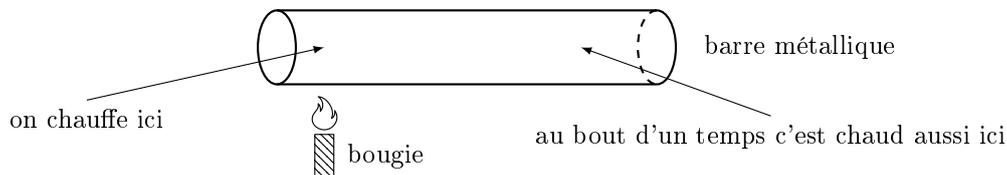
1 Transfert thermique

Le transfert thermique Q , qui est défini par le premier principe, peut se faire selon trois modes différents.

1.1 Les trois modes de transfert thermique

► **Diffusion (ou conduction).** Transfert d'énergie sans transport de matière dans un milieu matériel. Dominant dans les solides (la convection y est absente puisqu'un solide ne s'écoule pas).

Exemple.



► **Convection.** Transfert d'énergie par transport de matière. Dans les fluides (liquides et gaz), elle est très souvent dominante devant la conduction.

Exemples. Un radiateur dans une pièce chauffe localement l'air, qui s'élève alors car il devient moins dense, ce qui appelle de l'air avoisinant. Il y a ainsi un mouvement global d'air. Par ailleurs, en faisant chauffer de l'eau dans une casserole on crée un écoulement macroscopique (il suffit de mettre un grain de riz dedans pour s'en rendre compte).

► **Rayonnement (ou transfert radiatif).** Transfert d'énergie par rayonnement électromagnétique. C'est le seul qui peut exister dans le vide (la conduction et la convection ont besoin d'un milieu matériel). L'exemple typique est le rayonnement solaire.

Dans ce chapitre on ne s'intéresse qu'à la **conduction dans les solides**. Ces derniers sont modélisés par des phases incompressibles et indilatables.

1.2 Équilibre thermodynamique local

Définition. Équilibre thermodynamique local.

Le système est localement à l'équilibre thermodynamique si il l'est à l'échelle mésoscopique. Autrement dit, on est dans le cadre de l'**équilibre thermodynamique local** si chaque petit volume mésoscopique est à l'équilibre thermodynamique.

Dans le cadre de l'équilibre thermodynamique local, les grandeurs intensives T , P , u (énergie interne massique), s (entropie massique)... sont **bien définies à l'échelle mésoscopique** (on peut définir LA température de chaque petit volume mésoscopique par exemple). À l'échelle macroscopique, elles dépendent par contre bien sûr de la position dans le système, et a priori du temps : ce sont des **champs** $T(\vec{r}, t)$, $u(\vec{r}, t)$, ...

1.3 Énergie interne massique

Définition. Énergie interne massique u .

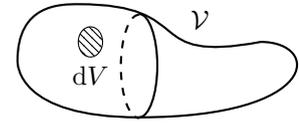
L'énergie interne dU présente à l'instant t dans un volume mésoscopique dV centré en \vec{r} est

$$dU = \rho u(\vec{r}, t) dV$$

avec ρ la masse volumique du matériau, qu'on suppose homogène dans tout ce chapitre.

L'énergie interne massique $u(\vec{r}, t)$ est un champ scalaire (en $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$). L'énergie interne U dans un volume \mathcal{V} est ainsi

$$U = \rho \iiint_{\mathcal{V}} u(\vec{r}, t) dV$$

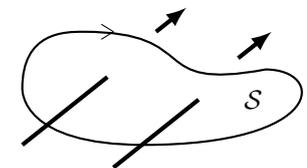


1.4 Vecteur densité de flux thermique

Définition. Flux (ou puissance) thermique.

Pour quantifier le transfert thermique δQ traversant une surface \mathcal{S} orientée, on introduit le flux thermique \mathcal{P} . Il est tel que le transfert thermique δQ à travers \mathcal{S} pendant dt s'écrit

$$\delta Q = \mathcal{P} dt$$

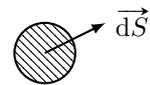


\mathcal{P} est un **flux d'énergie**, c'est-à-dire une énergie par unité de temps, donc une **puissance**. Il s'exprime en W.

Définition. (Vecteur) densité (surfactive) de flux d'énergie thermique \vec{j}_Q .

Le flux thermique $d\mathcal{P}$ traversant une surface élémentaire orientée $d\vec{S}$ pendant dt est

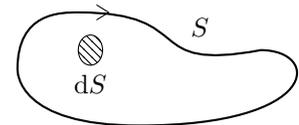
$$d\mathcal{P} = \vec{j}_Q(\vec{r}, t) \cdot d\vec{S} \quad \text{soit} \quad \delta^2 Q = d\mathcal{P} dt = \vec{j}_Q(\vec{r}, t) \cdot d\vec{S} dt$$



$d\vec{S}$ est un **vecteur normal** à la surface dS . La **densité de flux thermique** $\vec{j}_Q(\vec{r}, t)$ s'exprime en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$. \vec{j}_Q représente donc une énergie par unité de temps et par unité de surface.

Le flux thermique à travers une surface orientée \mathcal{S} est donc

$$\mathcal{P}(t) = \iint_{\mathcal{S}} d\mathcal{P} = \iint_{\mathcal{S}} \vec{j}_Q(\vec{r}, t) \cdot d\vec{S} \quad \text{et} \quad \delta Q = \left(\iint_{\mathcal{S}} \vec{j}_Q(\vec{r}, t) \cdot d\vec{S} \right) dt$$



À travers une surface fermée (orientée sortante par convention), la puissance thermique sortante s'écrit

$$\mathcal{P} = \oint_{\mathcal{S}} \vec{j}_Q \cdot d\vec{S}$$

Il y a évidemment de fortes analogies entre les grandeurs utiles à la description de la diffusion thermique et celles utiles à la description de la diffusion de particules. Notamment,

densité	n (volumique de particules)	\leftrightarrow	u (massique d'énergie interne)
densité surfacique	\vec{j}_N (de courant de particules)	\leftrightarrow	\vec{j}_Q (de puissance thermique)
flux	φ (de particules)	\leftrightarrow	\mathcal{P} (d'énergie thermique)