THERM2
Généralités sur les transferts thermiques

I Introduction

Pour le moment, avec nos connaissances en thermodynamique, la notion de transfert thermique apparaît dans l'expression des deux premiers principes de la thermodynamique, i.e. dans les bilans d'énergie et d'entropie :

$$\Delta E + \Delta U = W + Q,\ \Delta S = S^e + S^c \text{ avec } S^e = \int \frac{\delta Q}{T}.$$

Mais le transfert thermique désigné ici ne concerne que le bilan entre deux états d'équilibre thermodynamique d'un même système. On ne prend nulle part en compte la dimension temporelle des ces transferts thermiques.

Pour ce faire, et ce de manière quantitative, on utilisera la puissance thermique P_{th}, appelée également flux thermique Φ_{th}, reçu par un système : $P_{th} = \Phi_{th} = \dfrac{\delta Q}{\mathrm{d}t}$, avec δQ transfert thermique élémentaire reçu par le système pendant la durée $\mathrm{d}t$. Ces quantités s'expriment en W. On utilisera également le flux thermique par unité de surface, ou flux thermique surfacique φ_{th} qui lui s'exprime donc en W·m^{-2}.

II Les différents modes de transfert thermique

On distingue essentiellement trois façons différentes de transférer de l'énergie sous forme de transfert thermique : la conduction, la convection (naturelle ou forcée), le rayonnement. On va les détailler ici en précisant ce qui les caractérise.

II.1 Conduction thermique

Ce transfert thermique nécessite **un support matériel**, se fait par contact, **sans déplacement de matière**. L'origine en est microscopique : les atomes ou molécules des zones de fortes températures et donc de grande énergie cinétique microscopique, transfèrent une partie de cette énergie cinétique par des chocs aux autres atomes ou molécules voisin(e)s .

Elle est surtout efficace dans les solides métalliques. Nettement moins dans les liquides et encore moins dans les gaz.

Exemples : casserole sur plaque électrique, cuillère métallique initialement froide plongée dans un liquide chaud (cf. figure 1).

II.2 Convection

Ce transfert thermique **nécessite lui aussi un support matériel**, mais il est associé à un **déplacement macroscopique de matière**. En général c'est un fluide au contact d'un solide, qui est en mouvement. Ce mouvement peut être naturel (si le solide est chaud le fluide à son contact se réchauffe puis s'élève car moins dense et est remplacé par du fluide froid au sein de ce que l'on appelle des cellules de convection), ou forcé (si on impose le mouvement du fluide avec

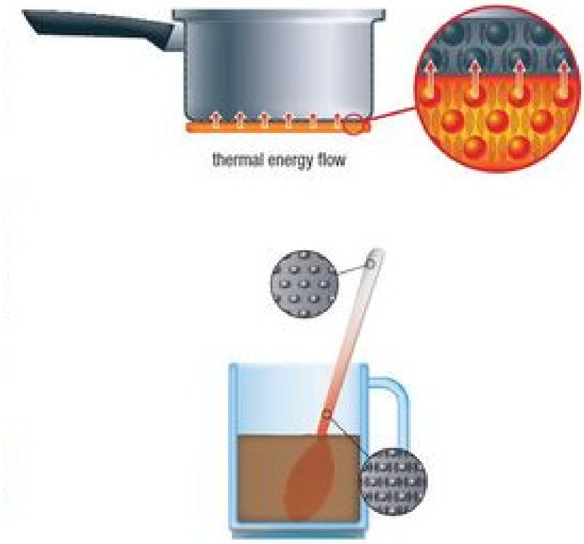

FIGURE 1 – Deux exemples de conduction thermique

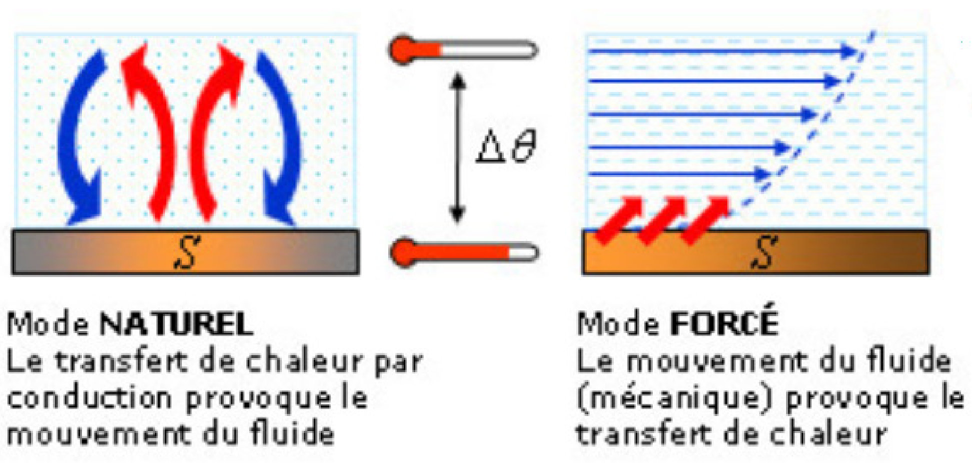

FIGURE 2 – Les deux mécanismes de convection

par exemple un ventilateur) (cf. figure 2). Le transfert thermique est bien plus efficace lorsque la convection est forcée que naturelle.

Exemple : le bol de café se refroidit au contact de l'air froid au dessus, et encore plus vite si on souffle dessus.

La physique associée est compliquée : se mêlent en général de la conduction sur une petite couche de fluide au contact du solide. On parle alors de **transfert thermique conducto-convectif** et nous verrons une loi plus bas, dite loi de Newton, décrivant empiriquement ce phénomène.

II.3 Rayonnement

Ce transfert thermique se fait sous la forme de rayonnement d'ondes électromagnétiques. C'est le seul qui peut avoir lieu **sans support matériel** (dans le vide). La "chaleur" du Soleil nous parvient ainsi. Les lois correspondantes ne sont pas au programme, mais elles peuvent être données dans un énoncé.

II.4 Simultanéité des transferts thermiques

Les différents transferts thermiques précédents ne sont pas exclusifs et peuvent avoir lieu en même temps.

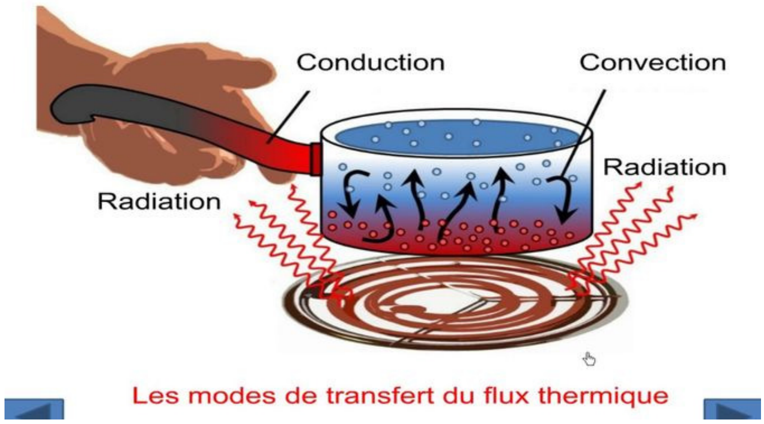

FIGURE 3 – Les trois transferts thermiques en même temps

III Hypothèse de travail

On aura souvent affaire à des systèmes qui ne seront pas globalement en équilibre thermodynamique, par exemple parce que la température n'y est pas uniforme. On fera cependant l'hypothèse qu'à l'échelle mésoscopique on pourra définir des grandeurs intensives locales P, T, etc... et que tous les volumes mésoscopiques considérés seront en équilibre thermodynamique local. On pourra donc écrire $P(M,t)$, $T(M,t)$...

Dans la suite du cours on fera toujours l'hypothèse de l'existence de l'équilibre thermodynamique local

IV Un outil important : le flux thermique surfacique

Schéma :

Soit un système Σ, de volume V, de surface fermée S. On définit le flux thermique surfacique reçu par le système en un point M de la surface $\varphi_{ext\to\Sigma}(M,t)$, compté positivement de l'extérieur vers le système. Dès lors le flux thermique élementaire à travers une surface $\mathrm{d}S$ centrée sur M est $\mathrm{d}\Phi_{ext\to\Sigma} = \varphi_{ext\to\Sigma}(M,t)\mathrm{d}S$.

Pour la totalité du système on écrira

$$\Phi_{ext\to\Sigma}(t) = \iint_S \varphi_{ext\to\Sigma}(M,t)\mathrm{d}S.$$

C'est bien sûr une grandeur algébrique. Il faudra donc faire très attention aux orientations lors des bilans.

Pendant la durée $\mathrm{d}t$ le système reçoit le transfert thermique élémentaire à travers $\mathrm{d}S$: $\delta^2 Q = \mathrm{d}\Phi_{ext\to\Sigma}\mathrm{d}t = \varphi_{ext\to\Sigma}(M,t)\mathrm{d}S\mathrm{d}t$, et pour le système complet $\delta Q = \Phi_{ext\to\Sigma}(t)\mathrm{d}t = \left(\iint_S \varphi_{ext\to\Sigma}(M,t)\mathrm{d}S\right)\mathrm{d}t$.

Expression du flux surfacique

- On étudiera dans le chapitre THERM3 la loi de Fourier permettant d'exprimer le flux thermique surfacique dans le cas de la conduction.
- Dans le cas de la convection avec les notations suivantes la loi de Newton s'écrit

$$\varphi_{\text{solide}\to\text{fluide}} = h\left(T(M,t) - T_{\text{fluide}}\right)$$

  où h est le coefficient de transfert conducto-convectif qui s'exprime en $\mathrm{W{\cdot}m^{-2}{\cdot}K^{-1}}$ et T_{fluide} la température dans le fluide "loin" du solide.

Propriété fondamentale Le flux thermique surfacique vérifie une propriété fondamentale : il y a **continuité** du flux thermique surfacique.

Schéma :

Au niveau de l'interface $\varphi^{(1)}_{1\to 2}(M_1,t) = \varphi^{(2)}_{1\to 2}(M_2,t)$.