

CHAPITRE II : LES TRANSFERTS THERMIQUES

II.1. TRANSFERTS DE CHALEUR:

On appelle transferts de chaleur, les processus par lesquels de l'énergie est échangée sous forme de chaleur entre des corps ou des milieux à des températures différentes T_1 et T_2 . [3]

La chaleur peut être transmise par conduction, convection ou rayonnement. Bien que les trois processus puissent avoir lieu simultanément, l'un des mécanismes est généralement prépondérant. Par exemple, la chaleur est principalement transmise par conduction à travers les murs en brique d'une maison; l'eau dans une casserole placée sur une cuisinière est surtout chauffée par convection; la Terre reçoit sa chaleur du Soleil en grande partie par rayonnement. [3]

Le flux engendré dans le transfert est proportionnel à la différence de température $T_1 - T_2$ et à la section de passage S du flux:

$$\Phi = h S (T_1 - T_2) \quad (\text{II-1})$$

h : s'interprète comme un coefficient d'échange de chaleur.

Cependant, cette relation n'est valable qu'au premier ordre, car le plus souvent, le coefficient h dépend de la température. On introduira souvent la quantité Φ / S , qui est la densité de flux, et qui s'exprime en W/m^2 . Les différents modes de transferts de chaleur seront étudiés en détail dans la suite de ce cours. Le problème sera de déterminer le coefficient h dans chacun des modes envisagés ci-après. [3]

II.2. TRANSMISSION PAR CONDUCTION :

La conduction est le mode de transfert de chaleur existant dans un milieu donné sans qu'il y ait déplacement apparent de matière (des molécules). C'est ce qui se passe en particulier dans un milieu solide homogène (métal, paroi...), mais qui a lieu aussi dans les fluides immobiles. Donc dans ce cours nous ne nous intéresserons pas au mécanisme interne du transfert (par exemple diffusion des électrons d'une région à haute température vers une région à basse température dans les métaux, ou contact élastique entre les molécules pour les fluides). [8]

La conduction ne peut exister que s'il existe des écarts de températures (écoulement continu) c'est à dire si le gradient de température n'est pas nul. Dans le cas contraire le milieu est en équilibre thermique et aucun transfert de chaleur ne peut se produire. Pour que ce gradient de température existe, il faut une action externe au système pour pouvoir maintenir des conditions de températures données aux limites du système. [8]

Dans le domaine du Génie Civil la conduction est le mode privilégié rencontré dans les parois du bâtiment et le sol [8]. Donc d'un système matériel dont on connaît la géométrie et les caractéristiques physiques. Ce système est en contact avec des sources de chaleur. La façon dont ces sources agissent constitue les liaisons thermiques. La connaissance de ces sources et des liaisons thermiques constitue les conditions aux limites du système.

Si l'on admet que la température a toujours une valeur bien définie en chaque point et à chaque instant le problème à résoudre est donc la connaissance de la température en tout point et son évolution au cours du

temps. C'est la recherche du champ de température. De plus dans la plupart des cas la connaissance des quantités de chaleur transmises est primordiale.

Afin de simplifier les modèles et leurs résolutions, l'analyse est souvent faite en régime permanent des températures c'est à dire que la température en tout point M (x, y, z) est stable : c'est le *régime permanent*.

Dans la réalité, on se trouve toujours dans des conditions de *régime variable*. Dans ces conditions, la résolution de ces problèmes est malaisée et nécessite généralement le recours à des méthodes numériques.

La relation fondamentale de la transmission de la chaleur par conduction a été proposée par **FOURIER** en 1822. Pour bien comprendre cette loi, il faut au préalable définir un certain nombre de grandeurs physiques. [8]

II.2.1. Grandeurs physiques utilisées

II.2.1.1. Flux de chaleur à travers une surface

C'est la quantité de chaleur qui traverse la surface considérée pendant l'unité de temps. Le symbole utilisé est la lettre Φ . L'unité dans le système international est le Watt. [3, 8, 9]

$$d\Phi = d^2Q / dt \quad (\text{II-2})$$

II.2.1.2. Densité de flux de chaleur

C'est la quantité de chaleur qui traverse l'unité de surface pendant l'unité de temps. C'est donc le flux de chaleur par unité de surface (ou densité de flux). On le notera φ . L'unité dans le système international est le Watt / m². [3, 8, 9]

$$\varphi = d\Phi / dS \quad (\text{II-3})$$

II.2.1.3. Surfaces isothermes

Considérons dans un corps homogène un champ de température T défini en chaque point et à chaque instant par la fonction $T = f(x, y, z, t)$. x, y, z sont les variables spatiales, t est le temps. Dans tout le corps, on peut définir à l'instant t des surfaces qui constituent les lieux des points ayant la même température. Ce sont les *surfaces isothermes*.

Dans le cas particulier de régime permanent qui sera développé ultérieurement la température est indépendante du temps et les surfaces isothermes sont fixes.

Remarque importante :

Deux surfaces isothermes ne peuvent se couper car on aurait alors deux températures différentes en un même point ce qui est physiquement impossible. [8]

II.2.1.4. Gradient de température

Considérons deux surfaces $\Sigma(T)$ et $\Sigma(T+dT)$ et 00' leur normale commune. On définit au point 0 le vecteur gradient de température $\overrightarrow{\text{grad}T}$ dont le module est égal à dT/dn . Ce vecteur est en tout point normal à la surface isotherme passant par ce point. Dans un système de coordonnées cartésiennes nous avons [8]:

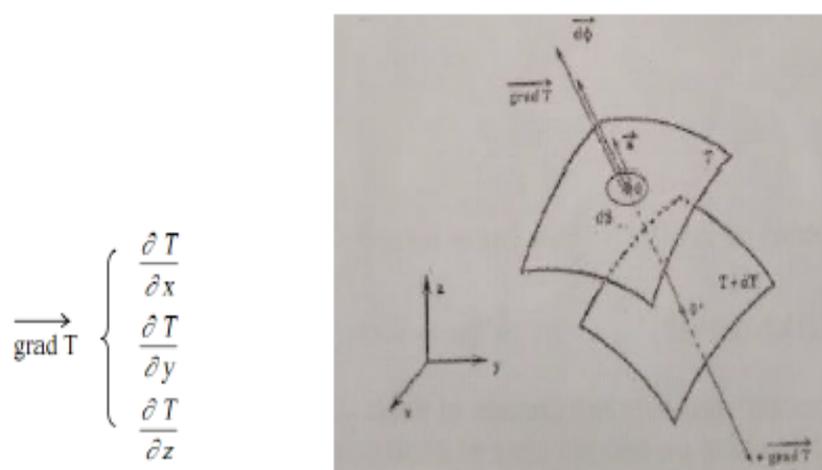


Figure II.1: Gradient de température de deux surfaces isothermes [8]

II.2.2. Loi de FOURIER

Considérons un milieu solide D dans lequel une surface élémentaire dS est orientée par sa normale unitaire \vec{n} [8]

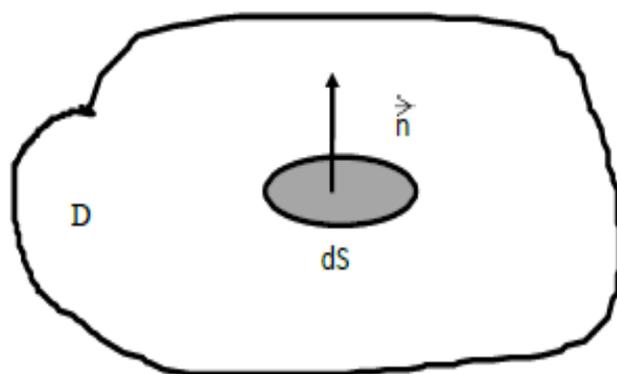


Figure II.2: La normale unitaire d'un milieu solide [8]

La quantité de chaleur d^2Q qui traverse la surface dS pendant l'intervalle de temps dt dans le sens de la normale n est donnée par la loi de Fourier [3, 8]:

$$d^2Q = -\lambda \cdot \overline{\text{grad } T} \cdot \vec{n} \cdot dS \cdot dt \quad (\text{II-4})$$

λ est un coefficient appelé conductivité thermique du matériau (en $\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$)

On a également :

$$d\Phi = \frac{d^2Q}{dt} = -\lambda \cdot \overline{\text{grad } T} \cdot \vec{n} \cdot dS \quad (\text{flux de chaleur}) \quad (\text{II-5})$$

$$\text{et : } d\phi = \frac{d^2Q}{dt \cdot dS} = -\lambda \cdot \overline{\text{grad } T} \cdot \vec{n} \quad (\text{densité de flux de chaleur}) \quad (\text{II-6})$$

La présence du signe - dans le second membre des relations signifie que le flux de chaleur progresse dans le sens opposé au gradient de température c'est à dire des températures les plus élevées vers les températures les plus basses (ce qui est du bon sens physique). [8]

Si la surface dS est située sur une surface isotherme les vecteurs $grad T$ et n seront alors colinéaires d'où :

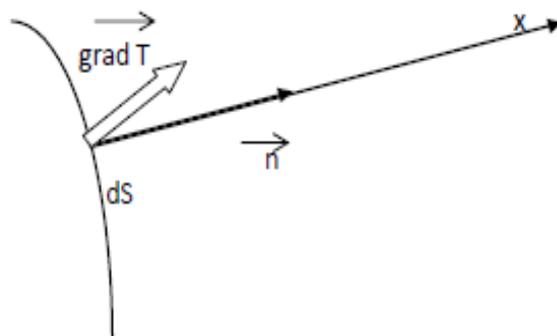


Figure II.3: La colinéarité du gradient de température et la normale unitaire d'une surface isotherme [8]

$$d^2Q = -\lambda \frac{dT}{dx} dS dt \quad (\text{II-7})$$

$$\text{ou } d\Phi = -\lambda \frac{dT}{dx} dS \quad \varphi = -\lambda \frac{dT}{dx} \quad (\text{II-8})$$

II.2.3. Conductivité thermique :

C'est la propriété physique d'un matériau qui caractérise sa capacité à conduire plus ou moins facilement la chaleur. Contrairement à l'électricité où il existe des matériaux complètement isolants, pour la conduction il n'existe pas de matériau totalement isolant. Plus un matériau est conducteur de la chaleur, plus sa conductivité thermique est élevée.

Tableau II.1 : Conductivité thermique λ [W/mK] de quelques matériaux [10]

Matériaux conducteurs	Conductivité thermique (λ [W/mK])	Matériaux isolants	Conductivité thermique (λ [W/mK])
Aluminium	230.00	Eau	0.660
Cuivre	380.00	Plâtre haute densité	0.500
Fonte	56.00	Caoutchouc	0.400
Acier	52.00	Plaques de plâtre	0.350
Plomb	35.00	Béton cellulaire	0.270
Granite	3.00	Bois naturel (Chêne)	0.230
Pierre froide (Marbre)	2.90	Plexiglas	0.190
Ardoise	2.10	Panneaux particules de bois	0.140
Polycarbonate alvéolaire	2.00	Liège comprimé	0.100
Pierre meulière	1.80	Carton	0.070
Béton plein	1.75	Fibres minérales (LV/LR)	0.040
PVC	1.70	Laine de verre	0.040
Enduit ciment	1.15	Paille	0.040
Terre cuite (Brique)	1.15	Polyuréthane expansé	0.039
Verre	1.15	Polyuréthane extrudé	0.033
Pierre tendre	1.00	Air	0.028