

CHAPITRE 1

Introduction

1. Introduction

Le transfert d'énergie a lieu chaque fois qu'un gradient de température existe à l'intérieur d'un système, ou lorsque deux systèmes à températures différentes sont mis en contact. Le processus par lequel le transfert de l'énergie s'effectue est désigné par le terme, transmission de chaleur. La grandeur transférée, appelée chaleur, ne peut être ni mesurée ni observée directement, mais les effets qu'elle produit sont sujets à l'observation et aux mesures.

L'écoulement de chaleur, comme la production de travail, est un phénomène qui implique la variation de l'énergie interne.

Du point de vue technique, le problème chef est la détermination de débit calorifique pour une différence de température donnée. Pour estimer le prix, la possibilité, et les dimensions d'un équipement nécessaire au transfert d'une quantité de chaleur déterminée dans un temps donné, il est nécessaire de faire une analyse détaillée de la transmission de chaleur. Les dimensions des chaudières, des radiateurs, des réfrigérateurs et des échangeurs ne dépendent pas seulement de la quantité de chaleur à transmettre mais plutôt du débit calorifique à transférer dans des conditions données. Le fonctionnement tels que, par exemple, les aubes d'une turbine ou les parois d'une chambre de combustion, dépend de la possibilité de refroidissement de certaines pièces métalliques par évacuation rapide et continue de la chaleur de la surface.

Dans l'étude de la transmission de chaleur, comme dans les autres bandes techniques, le succès de la solution d'un problème nécessite des hypothèses et des modélisations. Il est presque impossible de décrire parfaitement un phénomène physique, et quelques approximations sont nécessaires, pour mettre un problème sous forme d'équation pouvant être résolue.

1.1 Mécanismes des transferts de chaleur

La littérature traitant du transfert de chaleur reconnaît généralement trois modes de transmission de chaleur :

- La conduction
- Le rayonnement
- La convection

A vrai dire, seuls la conduction et le rayonnement doivent être classés comme des modes de transfert de chaleur, puisque les processus de ces deux mécanismes sont les seuls qui dépendent simplement de l'existence d'une différence de température. Le dernier des trois, la convection, n'est pas strictement conforme à la définition du transfert de chaleur, car elle dépend aussi, par sa réalisation, du mécanisme de transfert de masse. Mais comme la convection accomplit également un transfert d'énergie des régimes à haute température vers

les régions à basse température, le terme transmission de chaleur par convection est devenu classique.

Le rayonnement, lors de ce séminaire sera ignoré, vu son impact négligeable pour les applications que nous allons considérer.

1.1.1 Transfert de chaleur par conduction

La conduction est un phénomène au moyen duquel la chaleur s'écoule, à l'intérieur d'un milieu (solide, liquide ou gazeux) d'une région à haute température vers une autre à basse température, ou autres différents milieux mis en contact. Dans l'écoulement de chaleur par conduction l'énergie se propage par contact direct des molécules sans un déplacement appréciable des molécules.

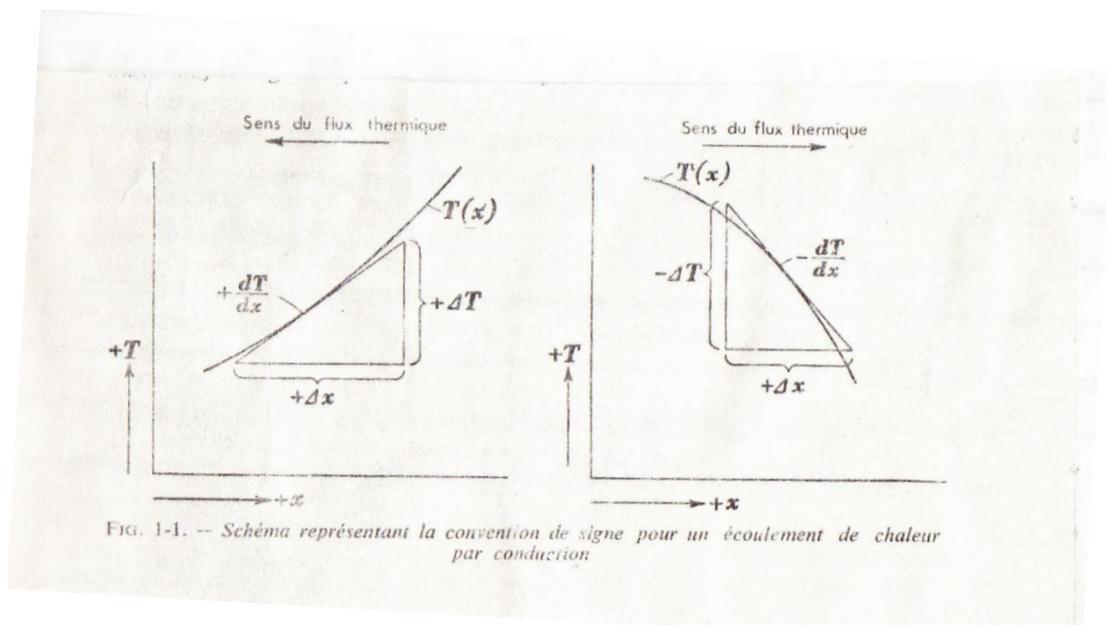
La relation fondamentale de la transmission de chaleur par conduction a été proposée par J.B.J Fournier en 1822. Elle établit que q_k , le flux de chaleur par conduction transmis dans le matériau, est égal au produit des 3 quantités suivantes :

- 1 k la conductivité thermique du matériau
- 2 A l'aire de la section à travers laquelle s'écoule la chaleur par conduction. Cette section étant mesurée perpendiculairement à la direction du flux thermique.
- 3 dT/dx le gradient de température dans la section c.à.d le rapport de la variation de la température T à la distance parcourue par le flux thermique.

Pour décrire l'équation de la conduction de chaleur sous une forme mathématique, nous devons adopter une convention de signes. Nous convenons que les sens des X croissants seraient le sens positif de l'écoulement de chaleur. En outre comme le 2^o principe de la thermodynamique implique nécessairement que la chaleur s'écoule des points les plus chauds vers les points les plus froids, le flux serait donc positif lorsque le gradient de température est négatif (fig.1.1)

En conséquence, l'équation élémentaire de la conductance, unidimensionnelle ou régime stationnaire s'écrit :

$$q_k = -KA \frac{dT}{dx} \quad (1.1)$$



Unités :

q_k : kcal/h Watt

A : m² m²

d_T/dx : °C/m °K/m

K : $\frac{kcal}{h.m.^{\circ}C}$ $\frac{W}{m.^{\circ}K}$

Le tableau 1.1 ainsi que la figure 1.2 pour diverses substances, donnent des ordres de grandeur de la conductivité thermique. Les matériaux ayant un **K** élevé sont appelés des conducteurs, tandis que les matériaux de faible **K** sont appelés des isolants. En général, la conductivité thermique varie avec la température, cependant dans beaucoup de problèmes pratiques, cette variation peut être négligée car elle est suffisamment faible.

1.1.2 Transfert de chaleur pour convection

La convection est un mode de transfert d'énergie par l'action combinée de la conduction, de l'accumulation de l'énergie et du mouvement d'un milieu. La convection est le mécanisme le plus important de transfert d'énergie entre une surface solide et un liquide ou un gaz.

Le transfert d'énergie par convection d'une surface dont la température est supérieure à celle du fluide qui l'entoure d'effectue en plusieurs étapes. D'abord la chaleur s'écoule par conduction de la surface aux particules adjacentes. L'énergie ainsi transmise sert à augmenter la température et l'énergie intense de ces particules fluides.

Ensuite les particules fluides vont se mélanger avec d'autres particules situées dans une région à basse température et transférer une partie de leur énergie. L'énergie est, à présent emmagasinée dans les particules fluides et elle est transportée sous l'effet de leur mouvement. Dans ce cas l'écoulement concerne le fluide et l'énergie.

La convection est subdivisée en deux types différents :

i / Convection naturelle (ou libre)

ii / Convection forcée.

Convection naturelle: lorsqu'il se produit au sein du fluide des courants dus simplement aux différences de densité résultant des gradients de température on dit que la convection est naturelle ou libre.

Convection forcée: quand le mouvement du fluide est provoqué par une action externe, telle une pompe ou un ventilateur, le processus est appelé convection forcée.

Le flux de chaleur transmis par convection entre une surface et un fluide peut être évalué par la relation

$$h_c A \Delta T \quad (1.2)$$

Dans laquelle

q_c : Flux de chaleur par convection (w)

A : Aire de la surface de transmission de chaleur (m²)

ΔT : Différence entre la température de la surface T_s et celle du fluide T_∞ loin de la surface en °C

h_c : Coefficient moyen d'échange de chaleur par convection (w/m²K)

La relation exprimée par l'équation 1.2 a été proposée par Newton en 1707. La détermination du coefficient d'échange de chaleur par convection est difficile car le mécanisme de convection est très complexe.

Il est utile de signaler à ce stade que la valeur numérique de h_c dans un système dépend de la forme géométrique de la surface, de la vitesse et également des propriétés physiques du fluide, et souvent même de la différence de températures ΔT . En fait ces quantités ne sont pas nécessairement constante à la surface aussi le coefficient de transfert de chaleur peut varier d'un point à un autre.

Dans les majorités des applications industrielles nous serions intéressés par les valeurs moyennes. A titre d'information, voici quelques ordres de grandeur de coefficients moyens d'échange de chaleur par convection qu'on rencontre dans la technique industrielle

	h(kW/m²k)
Air convection naturelle	0.004 – 0.05

Convection forcée (air)	0.01 – 0.55
Convection forcée (liquide)	0.1 – 5.5
Eau en ébullition	1.0 – 110.0

1.1.3 Le rayonnement

Le rayonnement est le processus qui permet à la chaleur de s'écouler d'un corps à haute température vers un corps dont la température est inférieure quand les corps sont séparés physiquement. En fait le rayonnement est transmis plus librement dans un vide.

Toute matière à température au-dessus du zéro absolu émet en permanence de l'énergie (chaleur rayonnante) sous la forme d'ondes électromagnétiques de longueurs d'onde différentes. L'intensité de cette énergie émise dépend de la température et de la nature de la surface. Des substances différentes émettent des ondes électromagnétiques sur des bandes de fréquence différentes.

Le mécanisme par lequel le rayonnement est propagé n'est pas très important quand à sa connaissance pour l'ingénieur. En effet l'ingénieur est plutôt intéressé par les effets du rayonnement plutôt que par le détail moléculaire. Ce qu'il faut savoir c'est que le rayonnement est l'énergie émise par des électrons vibrants dans les molécules of matière à la surface d'un corps et que la quantité émise dépend de la température absolue du corps. Par ailleurs l'énergie rayonnante voyage à la vitesse de la lumière (3×10^8 m/s).

Quand les ondes rayonnantes rencontrent un objet, leur énergie est absorbée près de sa surface.

Pour surface rayonnante parfaitement ou corps noir (c.a.d. un corps qui émet à n'importe quelle température le maximum d'énergie possible sur toutes les longueurs d'ondes ou fréquences), le transfert de chaleur par rayonnement est donné par :

$$q_r = \sigma AT^4 \quad (1.3)$$

Où :

q_r : Flux de chaleur (kW)

A : Aire du corps (m²)

T : Température absolue (K)

σ : Constante de Stephan Boltzmann (1879) - $\sigma = 56.7 \times 10^{-12}$

kW/m²K⁴

Une analyse peut détaillée l'échange d'énergie entre deux surfaces rayonnantes ainsi que le fait que l'énergie émise dans le cas d'une surface « réelle » est moins importantes. Par ailleurs les caractéristiques d'absorption et d'émission des surfaces et l'angle par lequel ces surfaces sont disposées mutuellement sont d'autres facteurs qui nécessitent d'être considérés.

1.2 analogie entre le flux électrique et le flux thermique

Deux systèmes sont dits être analogiques lorsqu'ils obéissent aux mêmes équations et possèdent aussi des conditions aux limites identiques. Cela signifie que l'équation traduisant un des systèmes peut être transformée, pour exprimer le deuxième système, par simple changement des symboles des différentes variables.

Par exemple le flux de chaleur q est analogue à un courant électrique d'intensité I traversant une résistance électrique.

Si nous remplaçons dans l'équation du flux de chaleur

$$q = \frac{\Delta T}{R} \quad (1.4)$$

Le symbole ΔT par ΔE qui est la différence de potentiel électrique et R qui est la résistance thermique par R_e qui serait une résistance électrique alors :

$$I = \frac{\Delta E}{R_e} \quad (1.5)$$

Tableau 1-1. — ORDRES DE GRANDEUR DES CONDUCTIVITÉS THERMIQUES

Substance	ken kcal/h·m °C
gaz à la pression atmosphérique	0,006 - 0,15
matériaux isolants	0,03 - 0,18
liquides non métalliques	0,075 - 0,60
solides non métalliques (brique, pierre à bâtir, béton)	0,05 - 2,2
métaux liquides	7,5 - 67
alliages	12 - 104
métaux purs	45 - 350

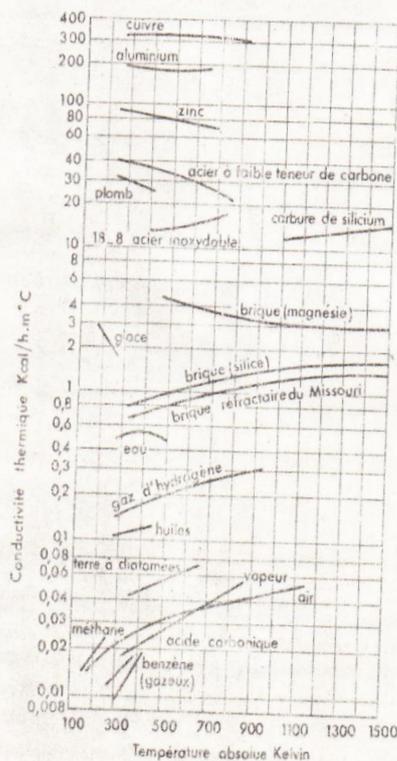


FIG. 1-2. — Conductivité thermique des solides, liquides et gaz en fonction de la température