

Généralités sur les processus de transferts thermiques

I. Introduction aux transferts thermiques

La thermodynamique permet de prévoir la quantité totale d'énergie qu'un système doit échanger avec l'extérieur pour passer d'un état d'équilibre à un autre.

Lorsqu'il existe une différence de température entre 2 points d'un système ou lorsque 2 systèmes à températures différentes sont mis en contact. On note une tendance à l'égalisation de température qui s'effectue de manière spontanée : on dit qu'il y a transfert thermique ou transfert de chaleur.

Donc, la thermique se propose de décrire quantitativement (dans l'espace et dans le temps) l'évolution des grandeurs caractéristiques du système, en particulier la température, entre l'état d'équilibre initial et l'état d'équilibre final.

Le transfert thermique obéit aux principes de la thermodynamique mais les lois de la thermodynamique ne suffisent pas pour décrire la manière avec laquelle se propage l'énergie thermique et expliquer ses mécanismes d'une part et prévoir la vitesse de propagation d'autre part. Le transfert thermique est donc régi par d'autres lois qui sont très importantes dans différentes branches de l'industrie : exemple les fours, les évaporateurs, les condenseurs, les séchoirs, etc.

1. Définitions et notations

a. Champ de température

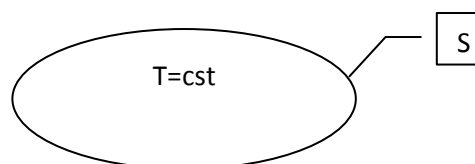
La température est une grandeur physique qui décrit l'état thermique d'un corps. Son unité est le kelvin (K) dans le système international (SI) et le degré fahrenheit (°F) dans le système anglo-saxon. En effet, $T_K = T_C + 273.15$ et $T_F = 32 + 1,8 * T_C$

Les transferts d'énergie sont déterminés à partir de l'évolution dans l'espace et dans le temps de la température : $T = f(x, y, z, t)$. La valeur instantanée de la température en tout point de l'espace est un scalaire appelé champ de température. Nous distinguerons deux cas :

- Champ de température indépendant du temps : le régime est dit permanent ou stationnaire.
- Evolution du champ de température avec le temps : le régime est dit variable ou transitoire.

b. Surface isotherme

Si on réunit tous les points de l'espace qui ont la même température, on obtient une surface dite surface isotherme.



c. Gradient de température¹

On appelle gradient de température ($\overrightarrow{grad} T$ ou $\overrightarrow{\nabla} T$) en un point M de coordonnées (x,y,z) en un instant donné, le vecteur de coordonnée :

$$\overrightarrow{grad} T = \begin{pmatrix} \frac{\partial T}{\partial x} \\ \frac{\partial T}{\partial y} \\ \frac{\partial T}{\partial z} \end{pmatrix}$$

Ce vecteur est en tout point normal à la surface isotherme passant par ce point.

d. Flux de chaleur

La chaleur s'écoule sous l'influence d'un gradient de température des hautes vers les basses températures.

On appelle flux de chaleur la quantité de chaleur transmise à travers la surface S par unité de temps donc le flux de chaleur est un scalaire représentant le débit de chaleur à travers une surface. Il est noté Q.

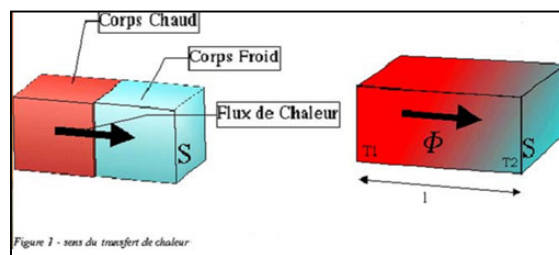


Figure 1 - sens du transfert de chaleur

Système d'unité	SI	Système des thermiciens	Système anglo-saxon
Unité	W ² (Watts)	kcal/h	Btu ³ /hr

e. Densité de flux de chaleur

La quantité de chaleur transmise par unité de temps et par unité d'aire de la surface isotherme est appelée densité de flux de chaleur. Le flux de chaleur est un vecteur qui a pour direction le sens de l'écoulement de la chaleur et pour module :

$$q = \frac{Q}{S}$$

Où S est l'aire de la surface (m²)

Système d'unité	SI	Système des	Système anglo-saxon
-----------------	----	-------------	---------------------

¹ En physique et en analyse vectorielle, le **gradient** est une grandeur vectorielle indiquant la façon dont une grandeur physique varie dans l'espace.

² 1 W = 1 J/S

³ British thermal unit

		thermiciens	
Unité	W/m^2	$kcal/h\ m^2$	$Btu/hr\ ft^2$

1 feet = 12 inch (pouce)

1 pouce = 25.4 mm

f. Equilibre thermique

L'équilibre thermique est caractérisé par l'égalité des températures (en K) de l'ensemble du système. Autrement dit par l'absence de tout flux thermique.

g. Chaleur spécifique

Appelée aussi chaleur massique ou capacité thermique massique. La chaleur spécifique d'un corps est la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1K la température de l'unité de masse de ce corps. Cette grandeur c est caractéristique d'un corps donné.

La chaleur massique s'exprime en $J \cdot g^{-1} \cdot K^{-1}$ ou $kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$

composé	Chaleur massique ($J \cdot g^{-1} \cdot K^{-1}$)
Air	1.01
aluminium	0.90
Eau liquide	4.18

h. Chaleur sensible

On chauffe un corps (solide, liquide ou gaz) de masse m et de chaleur spécifique c pour faire passer sa température de T_1 à T_2 sans changement d'état.

L'énergie (sous forme de chaleur) reçue par le corps, responsable de son élévation de température $\Delta T = T_2 - T_1$, est donnée par la relation : $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$ en Joules

où Q est la chaleur sensible (en J), m est la masse du corps (en kg), c est la chaleur massique de ce corps (en $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$), T_1 et T_2 sont les températures initiales et finales du corps (en K).

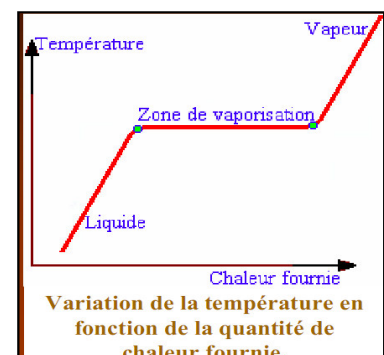
Exemple : La chaleur thermique massique de l'eau étant en moyenne de 4,19 $kJ/kg \cdot K$, il faut fournir 419 kJ pour chauffer un litre d'eau de $0^\circ C$ à $100^\circ C$.

i. Chaleur latente

C'est la quantité de chaleur qu'il faut fournir ou enlever à un corps (solide, liquide ou gaz) pour modifier son état physique sans changer sa température. Son unité est le J/g ou kJ/kg .

Exemple :

Chaleur latente de condensation : chaleur nécessaire pour passer



de l'état gazeux à l'état liquide,

Chaleur latente de fusion : chaleur nécessaire pour passer de l'état solide à l'état liquide.

A noter que la chaleur latente dépend de la température.

Exemple : la chaleur latente de vaporisation de l'eau est de :

100°C	20°C	0°C
2 257 kJ/kg	2 454 kJ/kg	2 501 kJ/kg

Il est donc un peu plus facile pour une goutte de passer à l'état vapeur lorsqu'elle se trouve déjà à 100°C.

II. Bilan d'énergie

Il faut tout d'abord définir un système (S) par ses limites dans l'espace et il faut ensuite établir l'inventaire des différents flux de chaleur qui influent sur l'état du système et qui peuvent être :

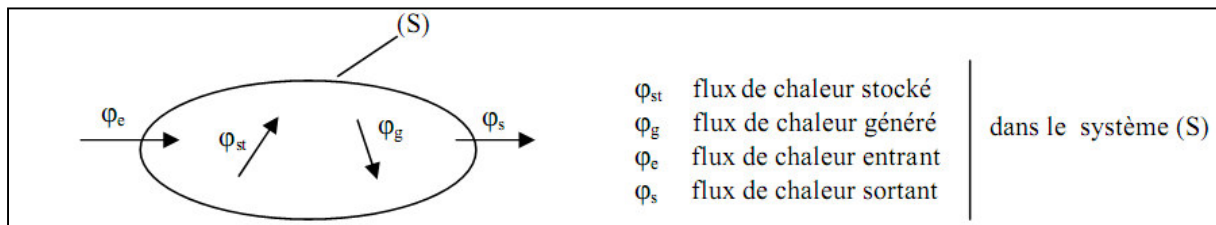


Figure 1 Système et bilan d'énergie

On applique alors le 1er principe de la thermodynamique pour établir le bilan d'énergie du système (S) est :

$$\phi_e + \phi_g = \phi_s + \phi_{st}$$