

Notations, théorie et équations utiles

Table des matières



I - Notations, théorie et équations utiles	3
1. 1. Notations utilisées	3
2. 2. Transferts de chaleur par conduction, rayonnement et convection	4
3. 3. La conductivité thermique (k) des matériaux courants.	5
4. 4. Puissance électrique, quantité de chaleur et transfert thermique	7
5. 5. La conduction linéaire de la chaleur	8
6. 6. Le gradient de température :	9
7. 7. Les équations pour la conduction thermique linéaire :	10
8. 8. Conduction thermique radiale	11
9. 9. Transfert de chaleur d'une surface	13
9.1. 9.1 Précision et détermination de h_c et h_r	13
9.2. 9.2 Prédiction des Températures	14
9.3. 9.3 Prédiction du flux de Chaleur	16
10. 10. Conductance thermique G et résistance thermique R	16
11. 11. Le retard thermique	17
II - Convection libre et forcée	19
1. Convection libre	19
2. Convection forcée	19
3. Conductivité thermique de l'air (k_{air})	19
4. Comparaison du débit d'air et de la chute de pression	20
5. Retard et gradient thermiques	21
6. Coefficient de transfert de chaleur (convectif) (h_c)	22
7. Numéro de Nusselt (Nu)	23

Notations, théorie et équations utiles



Cette partie fournit uniquement les informations de base nécessaires pour les expériences.

1. 1. Notations utilisées

Les données du tableau 1 sont pour les calculs des expériences.

<i>Symbole</i>	<i>Définition</i>	<i>Unités</i>
S ou AS	Section (S) ou air de la surface (AS)	m ²
D ou Dm	Diamètre ou Diamètre au centre	m
hc	Coefficients de transfert de chaleur par convection (hc)	W/m ² .K
P	Périmètre	m
r	Rayon	m
Δr	Espace radial	m
L	Longueur ou épaisseur	m
x	Une distance	m
Q	Quantité de chaleur	J
Q°	Énergie transférée par unité de temps (débit de chaleur)	W
T	Température	K ou °C
Ta	Température ambiante	K ou °C
Tl	Température en une position donnée	K ou °C
Tx	Température en un point donné d'une longueur	K ou °C
ΔT	Différence de température	K ou °C
Tm	Température moyenne	K ou °C
k	Conductibilité thermique	W/m.K
σ	Constante de Stefan-Boltzmann	5.67 10 ⁻⁸ W/m ² .K ⁴

2. 2. Transferts de chaleur par conduction, rayonnement et convection

La chaleur ou l'énergie interne d'un corps est l'énergie cinétique de l'ensemble des molécules constituant ce corps, qu'il soit solide, liquide ou gazeux, les molécules étant en vibration ou en mouvement. L'activité cinétique augmente avec la température (les molécules se déplacent plus vite). Quand un corps chaud est en contact avec un corps froid, de l'énergie passe d'un corps à l'autre à travers le point ou la surface de contact. Le corps le plus chaud se refroidit et le corps le plus froid se refroidit. La chaleur passe du corps le plus chaud (source de chaleur) vers le corps le plus froid (puits de chaleur) jusqu'à ce que les deux corps soient à l'équilibre en ayant la même température.

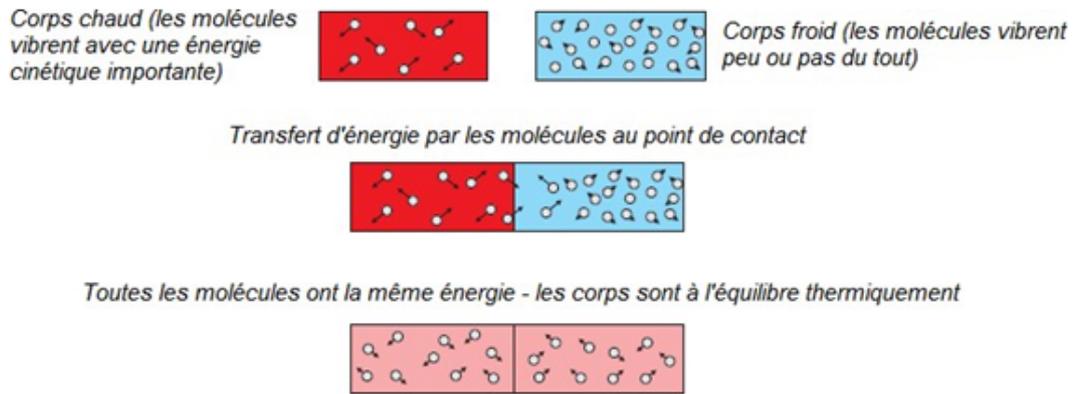


Figure 1 – Transferts de chaleur entre un corps chaud et un corps froid

Les transferts de chaleur d'un corps à un autre peuvent se faire selon trois méthodes : par conduction, par convection et par rayonnement. Dans la plupart des cas réels, les trois modes de chaleur sont combinés.

- Par *conduction*, la chaleur passe d'une molécule à une autre dans un corps solide ou entre deux corps solides en contact
- Par *convection*, la chaleur entre un corps solide et un fluide environnant (liquide ou gazeux)
- Par *rayonnement*, le transfert de chaleur se passe entre deux corps solides au moyen d'ondes électromagnétique.

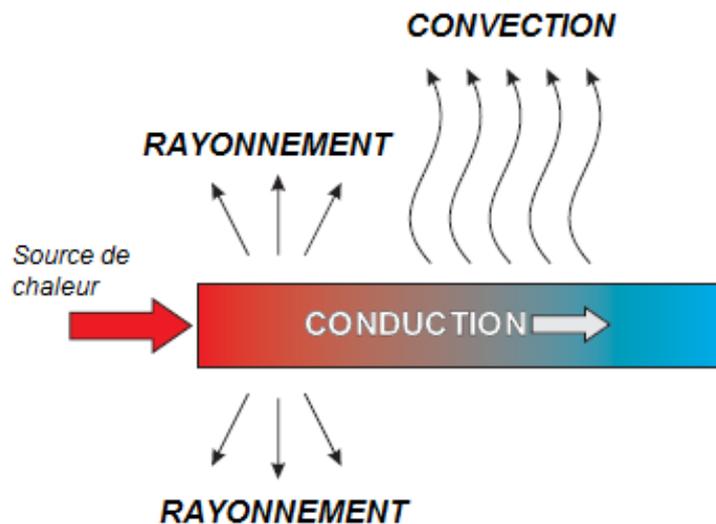


Figure 2 – Les 3 modes de transmission de la chaleur : conduction, convection et rayonnement.

Quand vous cherchez à trouver les propriétés thermiques d'un matériau par conduction, vous devez limiter les pertes de chaleur liés à la convection et au rayonnement, si non vos résultats seront erronés. Un isolant vous permettra de limiter ces pertes.

3. 3. La conductivité thermique (k) des matériaux courants.

Certains matériaux sont de meilleurs conducteurs thermiques que d'autres. La nature du matériau a en effet une influence sur la transmission de la chaleur. Cet effet est caractérisé par le coefficient k de conductivité thermique des matériaux. Ce coefficient est la mesure du transfert de chaleur par unité de longueur et par unité de section.

3. La conductivité thermique (k) des matériaux courants.

Le tableau 2 présente le coefficient de conductivité thermique pour des matériaux courants. Vous pouvez noter que les matériaux métalliques (conducteurs électriques) ont une plus grande conductivité que la plupart des autres matériaux (isolants électriques) pour une même température. Cette remarque suggère un lien entre la conductivité thermique et celle électrique.

Tableau 2 – Conductivité thermique pour différents matériaux à la température ambiante.

Matériaux (à 298 K – 24,85°C)		Conductivité thermique (k) W /m.K
Métaux	Aluminium (pure)	205 à 237
	Aluminium (6082)	170
	Laiton (CZ121)	123
	Laiton (63% de cuivre)	125
	Laiton (70% de cuivre)	109 à 121
	Cuivre (pure)	353 à 386
	Cuivre (C101)	388
	Acier doux	50
	Acier inoxydable	16
Gaz	Air	0,026
	Dioxyde de carbone	0,016
	Hydrogène	0,172
Autres	Amiante	0,28
	Huile Castor	0,18
	Verre	0,8
	Eau	0,6
	Bois (tendre à dur)	0,07 à 0,2

Remarque

Il est à noter que la température a une influence sur la conductivité thermique. Les effets sont cependant plus importants pour les liquides et les gaz que pour les matériaux.

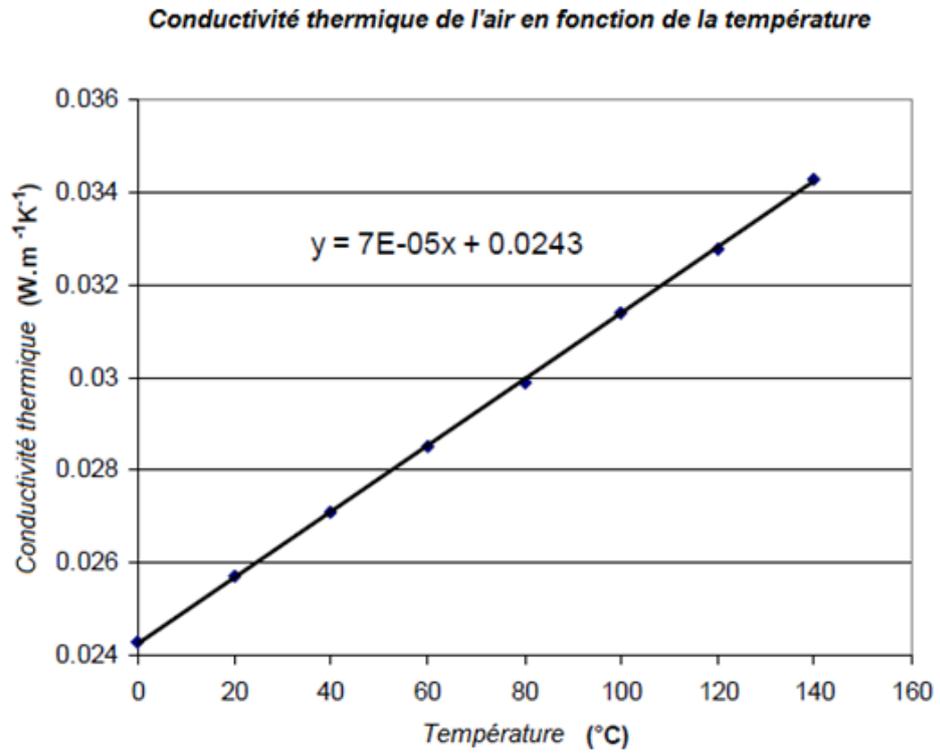


Figure 3 – Influence de la température sur la conductivité de l'air

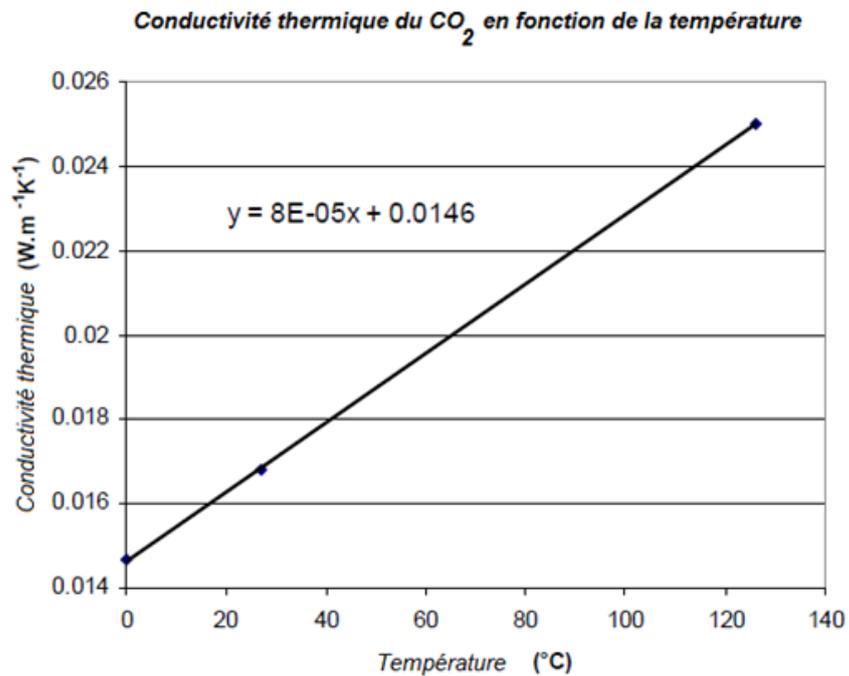


Figure 4 – Conductivité thermique du dioxyde de carbone

4. 4. Puissance électrique, quantité de chaleur et transfert thermique

En supposant être dans des conditions idéales, la puissance fournie par la résistance électrique pour chaque expérience donne une valeur directe et exacte de la quantité de chaleur qui est émise ou transmise.

La puissance électrique fournie par la résistance est le produit de la tension par le courant qui lui sont fournies, c'est-à-dire :

Puissance électrique (W) = Tension (V) aux borne de la résistance X Courant (I) la traversant

$$W = V \times I$$

La quantité de chaleur (Q) ou l'énergie thermique sont exprimées habituellement en Joules (J).

Le transfert thermique est la quantité de chaleur transmise en un temps donné, c'est-à-dire Q/t .

Pour simplifier les équations, on écrira :

$$\frac{Q}{t} = \dot{Q}$$

L'unité (Watt) utilisée pour la puissance électrique est aussi l'unité du transfert thermique (le Joule par seconde).

Ainsi :

$$W = \dot{Q} \quad (1)$$

L'énergie électrique fournie à la résistance électrique est ainsi le flux d'énergie thermique transmise par la résistance électrique.

5. 5. La conduction linéaire de la chaleur

Si on considère une barre de section circulaire comme présentée sur la Figure 5 avec la température T_1 dans la section 1 plus grande que la température T_2 dans la section 2, la chaleur va alors se déplacer du côté le plus chaud à la température T_1 vers le côté le plus froid à la température T_2 .

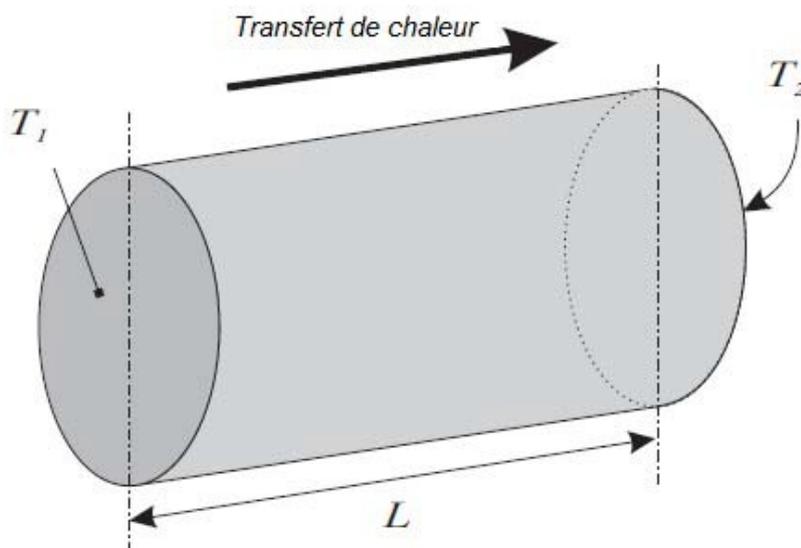


Figure 5 – Transfert de chaleur dans une barre de section circulaire

6. 6. Le gradient de température :

Le gradient de température dans un matériau est la variation de température par unité de longueur. Ainsi, dans le cas de l'exemple de la barre de la Figure 5, le gradient de température est alors :

$$\frac{T_1 - T_2}{L}$$

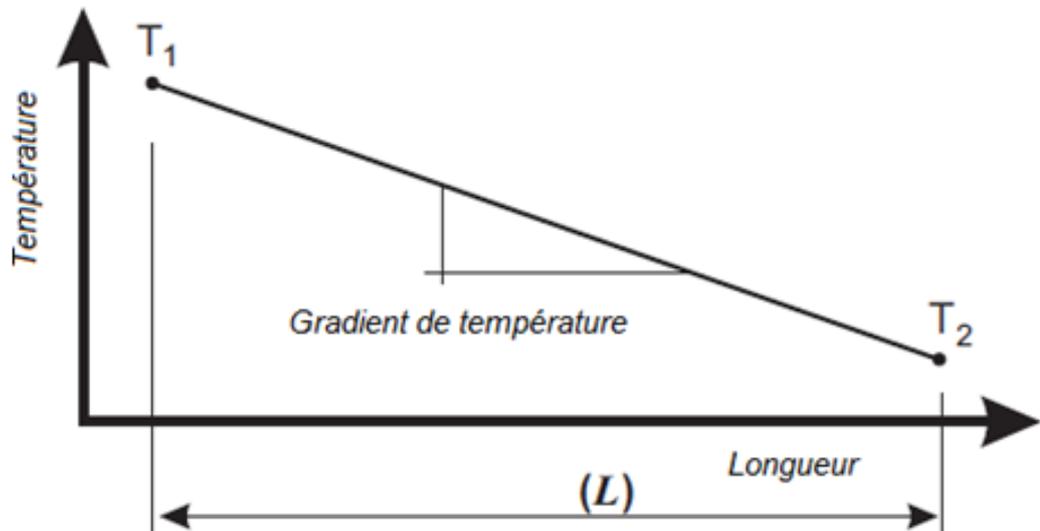


Figure 5 – Le gradient de température

Remarque

-
- Un matériau bon conducteur thermique a un gradient de température petit
 - Un matériau mauvais conducteur thermique ou bon isolant a un gradient de température grand.

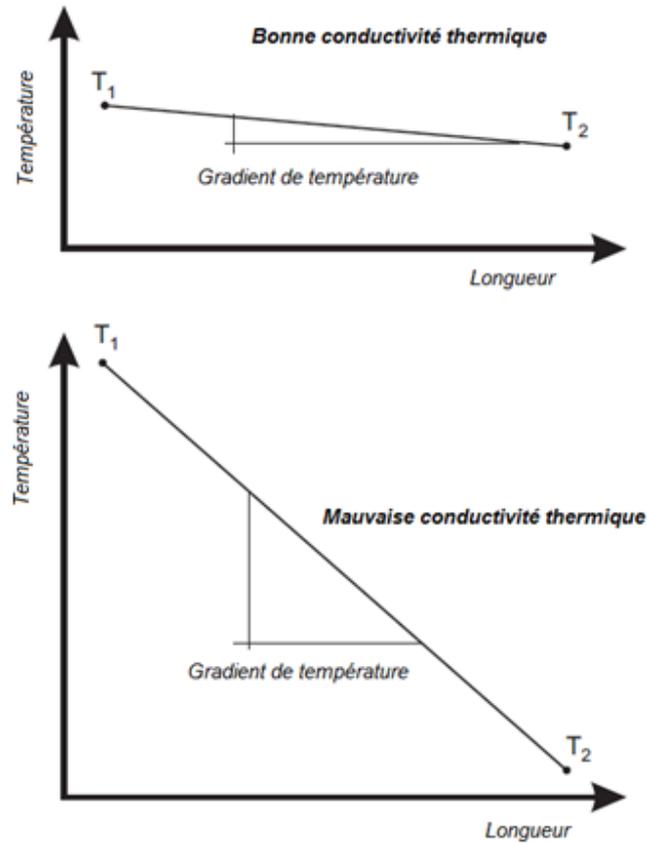


Figure 6 – Bon et mauvais conducteurs thermiques

7. 7. Les équations pour la conduction thermique linéaire :

Comme indiqué précédemment, la conductivité thermique est la mesure montrant la vitesse de déplacement de la chaleur par unité de longueur et de section transversale. Ainsi dans le cas de la barre de section circulaire de la Figure 5, l'équation avec la section transversale A et la longueur L entre les deux sections où la température est mesurée, est alors :

$$\frac{Q}{t} = kA \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (2)$$

Ou comme montré précédemment :

$$W = kA \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (3)$$

Pour information simplement, la forme standard de l'équation est :

$$\frac{Q}{At} = k \frac{T_1 - T_2}{L}$$

Ainsi, la conductivité thermique d'un matériau peut être déterminée par :

$$k = \frac{QL}{(T_1 - T_2)At} \quad (4)$$

Les unités de la conductivité thermique sont le $\text{J.s}^{-1}.\text{m}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Cependant comme un Joule par seconde est égal à un Watt, il est plus habituel d'utiliser les unités $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

Comme il a été démontré précédemment, on peut remplacer Q/t par W et on obtient :

Remarque

Ces équations supposent des conditions idéales où tout transfert de chaleur se fait par conduction et aucune chaleur n'est perdue dans l'environnement par convection ou rayonnement.

Les équations de conductivité thermique utilisent les dimensions du matériau, mais il s'agit en fait d'une mesure des propriétés du matériau, indépendamment de sa forme ou de sa taille. Par exemple, une grande pièce d'acier a la même conductivité thermique qu'une petite pièce d'acier.

8.8. Conduction thermique radiale

L'équation du transfert de chaleur radial est similaire à celle du transfert de chaleur linéaire, sauf qu'elle calcule la surface et l'épaisseur des morceaux de matériau en forme d'anneau entre les points de mesure de température.

Cela a bien sûr besoin de leurs rayons intérieur et extérieur (r_1 et r_2 sur la figure 07) et de l'épaisseur du disque (L), donc:

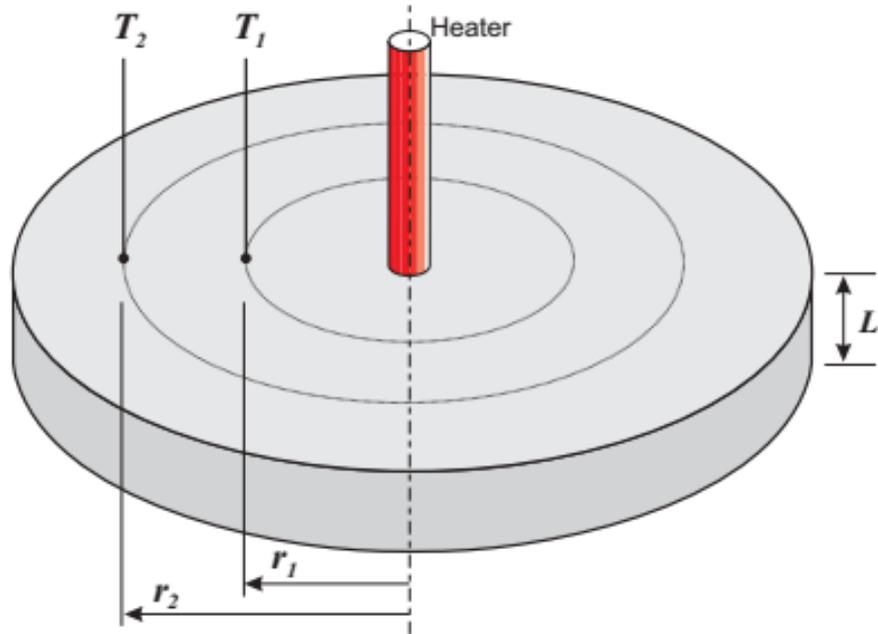


Figure 07: Conduction thermique radiale

$$\dot{Q} = \frac{2\pi kL}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}(T_1 - T_2) \quad \text{or} \quad W = \frac{2\pi kL}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}(T_1 - T_2) \quad (6)$$

et aussi, par réarrangement:

$$k = \frac{W \times \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi L(T_1 - T_2)} \quad \text{and} \quad T_1 - \frac{W \times \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi Lk} = T_2 \quad (7)$$

Le morceau de disque entre chaque thermocouple est un anneau de matière. Les anneaux deviennent plus grands en surface (et en volume) à mesure que leur rayon augmente, de sorte que le gradient de température du disque n'est pas une ligne droite (linéaire) comme dans l'expérience de transfert de chaleur linéaire. La ligne est une courbe qui obéit à la fonction polynomiale X^2 (voir Figure 8).

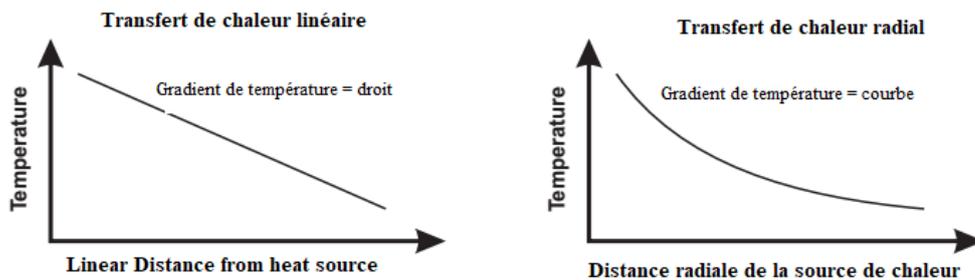


Figure 8 Comparaison du transfert de chaleur linéaire et radial

9. 9. Transfert de chaleur d'une surface

Plusieurs facteurs affectent le transfert de chaleur (ou la perte de chaleur) d'une surface par rapport à son milieu environnant, incluant:

- *L'aire de la surface* - une plus grande aire de la surface permet une perte de chaleur plus rapide avec l'ensemble des trois méthodes de transfert de chaleur.
- *Les propriétés de la surface* - une surface terne et sombre perd de la chaleur (par rayonnement) plus rapidement qu'une surface lisse et luisante.
- *Les propriétés de l'air ou du gaz qui entoure la surface* - une température environnante faible ou une vitesse d'écoulement élevée de l'air ou du gaz permettent une perte de chaleur plus rapide.
- *Son orientation* - une surface positionnée pour permettre une convection naturelle vers le haut permet un meilleur transfert de chaleur (pour la convection naturelle uniquement).

Certains des composants les plus fréquemment utilisés qui utilisent une surface de transfert de chaleur sont 'les plaques de refroidissement' et 'les ailettes de refroidissement'- utilisées pour dissiper l'excès de chaleur loin des composants électriques ou des moteurs à combustion à refroidissement par air.

Ils sont fabriqués à base de métaux légers bons conducteurs thermiques usinés sous forme de plaques minces ou tubes pour maximiser leur surface d'échange. Ils peuvent également être revêtus d'une couche noire mate pour favoriser les transferts thermiques par rayonnement.

Pour prédire les températures le long d'une ailette ou d'une barre, vous devez déterminer sa capacité à transférer la chaleur - qui se détermine par son coefficient de transfert de chaleur (h). Cependant, comme mentionné, ce coefficient possède deux composantes - le coefficient de transfert de chaleur par rayonnement (h_r) et le coefficient de transfert de chaleur par convection (h_c). Ces deux composantes sont additionnelles, car elles fonctionnent en *parallèle*, donc :

$$h = h_r + h_c$$

9.1. 9.1 Précision et détermination de h_c et h_r

Selon la littérature, la valeur de h_c peut varier de +/-25%, en fonction du débit d'air, de la surface sur laquelle l'air s'écoule et des propriétés de l'air. En conséquence, des prédictions précises de résultats nécessitent des états absolument stables, qui ne se produisent jamais dans la réalité, les prédictions pourraient donc être dénuées de sens. Pour cette raison, les scientifiques et les ingénieurs doivent faire quelques essais de base avec l'équipement réel dans des conditions correctes afin de déterminer la valeur de h_c .

A partir de la littérature, l'équation 8 vous indique comment déterminer h_c pour un cylindre ou une barre:

$$h_c = 1.32 \times \frac{(T_{mean} - T_a)^{0.25}}{(D)} \quad (8)$$

Également, une équation similaire prédira h_r pour un cylindre ou une barre :

$$h_r = \sigma F \xi \times \frac{(T_{mean}^A - T_a^A)}{(T_{mean} - T_a)} \quad (9)$$

Qui peut se réduire à l'équation 10 pour notre expérience :

$$h_r = 5.387 \times 10^{-8} \times \frac{(T_{mean}^A - T_a^A)}{(T_{mean} - T_a)} \quad (10)$$

Où Tmean est la valeur moyenne des températures le long du cylindre ou de la barre (en °K).

Pour économiser du temps, des essais ont été effectués pour vous aider à choisir une valeur totale de h (hc+hr), pour une puissance consommée donnée, basée sur des essais réalisés dans une pièce avec une température ambiante stable d'environ 20°C et un écoulement d'air minimal.

Graphique réalisé par TecQuipment pour vous aider à déterminer le Coefficient de Transfert de chaleur (h = hc + hr) à une puissance donnée dans des conditions normales de laboratoire.

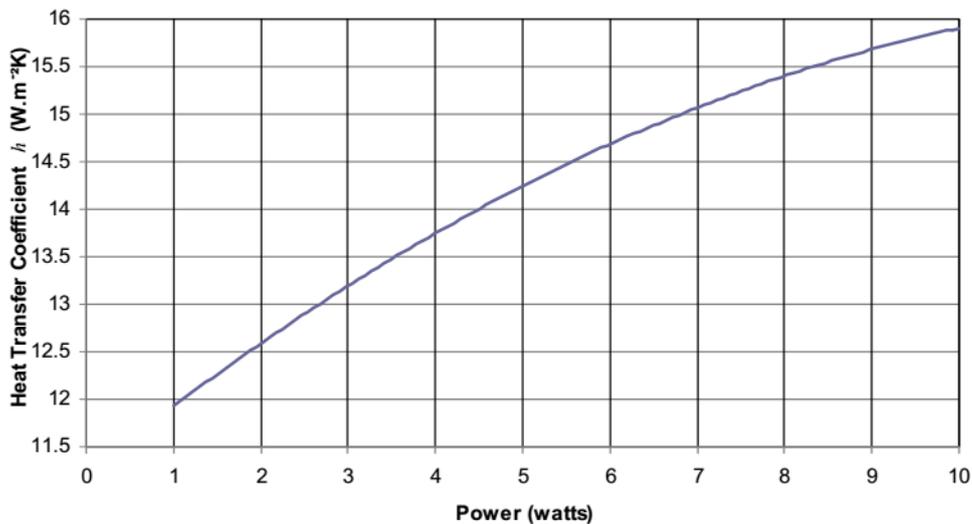


Figure 09 : Graphique TecQuipment pour vous aider à déterminer h

9.2. 9.2 Prédiction des Températures

Comme mentionné, pour prédire les températures le long d'un barreau, vous avez besoin de connaître les conditions ambiantes, vous pourrez alors utiliser des calculs trigonométriques pour prédire les températures qui devraient correspondre à une courbe. Pour un barreau horizontal, à partir de la littérature et de la Figure 10.

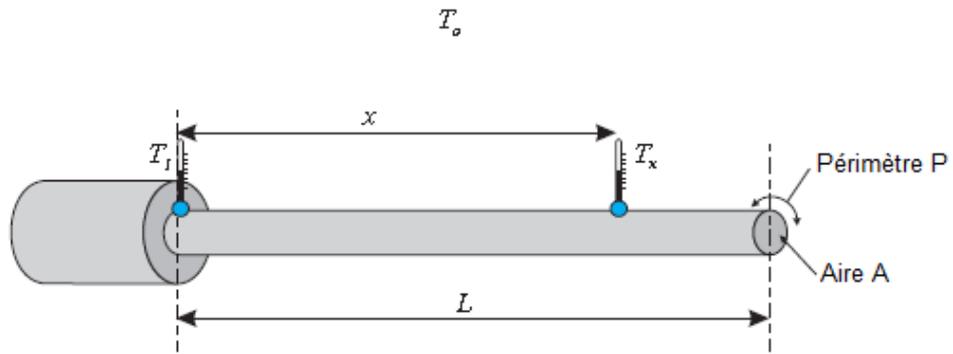


Figure 10 : Prédiction des températures

$$\frac{T_x - T_a}{T_1 - T_a} = \frac{\cosh[m(L-x)]}{\cosh mL}$$

D'où

$$T_x = (T_1 - T_a) \left(\frac{\cosh[m(L-x)]}{\cosh mL} \right) + T_a \quad (11)$$

Où

$$m = \sqrt{\frac{hP}{kA}} \quad (12)$$

Les températures devraient permettre d'obtenir une courbe de température décroissante en fonction de la distance le long du barreau, montrant ainsi que le barreau transfère la plus grande partie de sa chaleur de cette partie la plus proche de la source de chaleur.

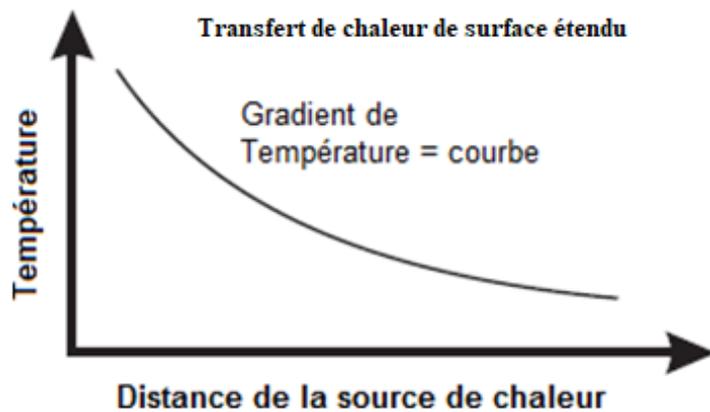


Figure 11 : Températures le long du barreau

9.3. 9.3 Prédiction du flux de Chaleur

A partir de la littérature, deux équations fonctionneront pour prédire le flux de chaleur à travers et vers l'extérieur d'un barreau ou d'une tige horizontale.

L'équation 13 fonctionne lorsque la température à l'extrémité de la tige ou du barreau *est la même que l'ambiante*.

L'équation 14 fonctionne lorsque la température à l'extrémité de la tige ou du barreau *est supérieure à l'ambiante*. (il y a un gradient de chaleur à l'extrémité).

$$\dot{Q} = \sqrt{hPkA} \times (T_1 - T_a) \quad (13)$$

$$\dot{Q} = \sqrt{hPkA} \times (T_1 - T_a) \times \frac{\sinh mL + \left(\frac{h}{mk}\right) \cosh mL}{\cosh mL + \left(\frac{h}{mk}\right) \sinh mL} \quad (14)$$

10. 10. Conductance thermique G et résistance thermique R

Remarque

Ne confondez pas conductance thermique et conductivité thermique. Ce sont des mesures différentes et ont des unités différentes.

La conductivité thermique caractérise la façon de transférer la chaleur pour un matériau. La conductance thermique caractérise comment un objet d'une certaine dimension transfère la chaleur. Pour trouver la conductance thermique d'un objet, vous devez connaître les propriétés thermiques du matériau le constituant et ses dimensions.

Ainsi la conductance thermique est définie par :

$$(G) = k \frac{A}{L} \text{ in } \text{W.K}^{-1}$$

La résistance thermique est l'inverse de la conductance thermique. Elle détermine la façon d'un corps de « résister » à la chaleur. Elle est obtenue à partir des dimensions du corps et de la conductivité thermique du matériau du corps. Sa valeur est souvent très utile pour les ingénieurs qui doivent prendre en compte les transferts de chaleur dans la conception d'une machine ou pour l'isolation d'un bâtiment.

$$(R) = \frac{L}{kA} \text{ in } \text{K.W}^{-1} \quad (15)$$

Le calcul de la résistance thermique d'un corps constitué de plusieurs objets de matériaux différents en contact est simple : il suffit d'additionner les résistances thermiques de chaque objet (voir la Figure 12). Inversement, si vous connaissez la résistance thermique globale d'un corps, ainsi que celle des différents objets le constituant à l'exception de l'un, vous pouvez facilement déterminer celle-ci.

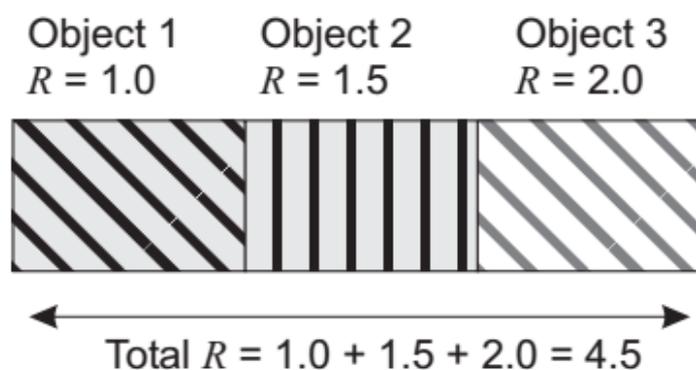


Figure 12 – Addition des résistances thermiques

A partir de la résistance thermique, vous pouvez déterminer la conductivité thermique d'un matériau ou la conductivité thermique globale d'un objet constitué de plusieurs matériaux :

$$k = \frac{L}{RA}$$

Remarque

Dans ces équations, A est la zone de contact entre les objets, qui dans les applications réelles n'est pas la même que la surface exposée de l'objet.

11. 11. Le retard thermique

Avec la Figure 13, comme référence, comme démontré précédemment, quand vous chauffez un côté d'un matériau conducteur, l'énergie thermique se déplace le long du matériau conducteur par conduction. Cela prend cependant du *temps* pour ce transfert de chaleur se réalise d'une zone à une autre en fonction des propriétés thermiques du matériau et des dimensions (en fonction de sa conductance thermique ou de sa résistance thermique).

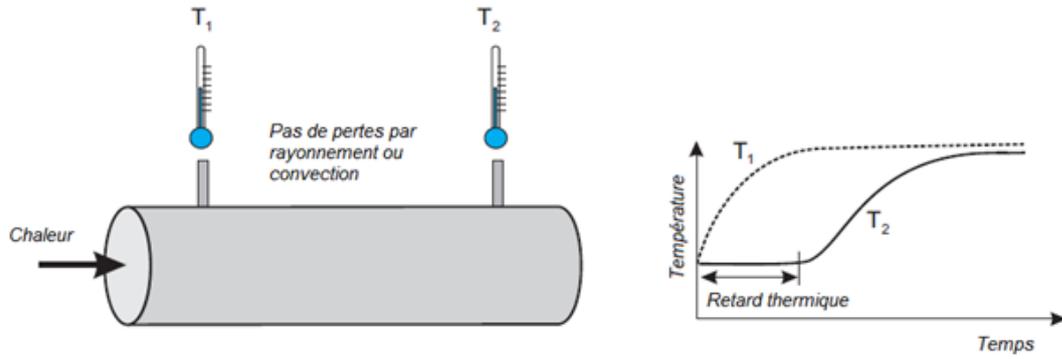


Figure 13 – Le retard thermique avec l'hypothèse qu'il n'y a pas de pertes de chaleur

En faisant l'hypothèse qu'il n'y a pas de pertes de chaleur par rayonnement ou convection, le temps que l'énergie thermique se propage dans tout le matériau afin qu'il soit à l'équilibre thermiquement, temps pris par l'énergie thermique pour se déplacer de T_1 à T_2 est appelé *le retard thermique*.

Dans des cas réels, les pertes par rayonnement et par convection influent sur la valeur du flux d'énergie thermique qui se propage dans les différentes parties du corps et ainsi sur leur température. Ainsi, il est possible que des parties ne soient pas à la même température que les zones proches de la source de chaleur.

Convection libre et forcée

II

1. Convection libre

C'est à ce moment que la chaleur est transférée de l'objet sous l'influence des changements de densité du fluide (air). L'énergie thermique autour de l'objet fait diminuer la densité de l'air autour de la surface de l'objet. L'air à densité réduite est plus flottant que l'air ambiant et s'élève, transportant l'énergie thermique naturellement. Dans des conditions normales, la gravité est la principale force affectant la flottabilité et donc la convection. Cependant, lorsque l'objet fait partie d'une machine tournante, la force centrifuge peut être une force motrice pour la convection.

2. Convection forcée

C'est lorsqu'une force externe déplace l'air autour ou à travers la surface. Le mouvement de l'air éloigne l'air chauffé de l'objet. Plus la vitesse de l'air est élevée, plus il évacue rapidement la chaleur de l'objet.

3. Conductivité thermique de l'air (k_{air})

Certains matériaux (y compris les fluides) sont de meilleurs conducteurs de chaleur que d'autres; leur structure chimique et atomique affecte le flux de transfert de chaleur. Cet effet est sa conductivité thermique (k). Il s'agit d'une mesure de la vitesse à laquelle l'énergie thermique se déplace le long d'une unité de longueur de matériau d'une section transversale unitaire. La conductivité thermique de l'air augmente presque linéairement avec la température sur la plage de 0 à 100 °C.

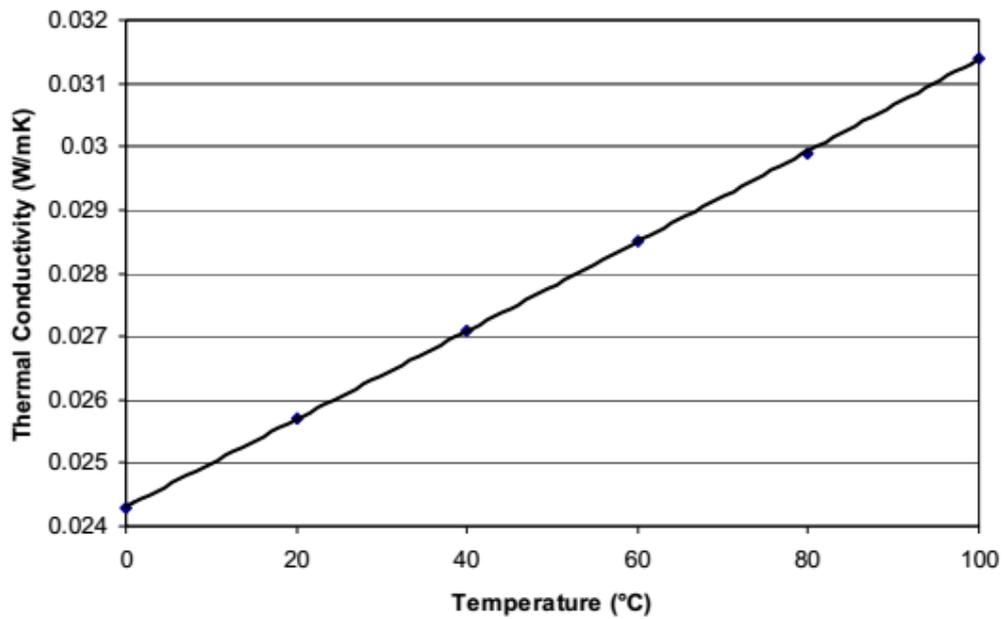


Figure14 : Conductivité thermique de l'air

4. Comparaison du débit d'air et de la chute de pression

La surface plane a peu ou pas d'effet sur le flux d'air et se trouve au ras de la paroi du conduit. Le corps principal du flux d'air ne passe pas la surface.

La surface épinglée se trouve directement dans le corps principal du flux d'air. Il provoque un flux d'air turbulent et des vitesses variées dans et autour de ses broches. Cette surface crée une différence de pression d'air (chute) entre les flux d'air en amont et en aval. Le flux d'air à son entrée peut être uniforme, mais le flux d'air immédiatement en aval est turbulent. Il provoque une plus grande obstruction au flux d'air et à la chute de pression que les surfaces planes ou à ailettes.

La surface à ailettes se trouve directement dans le corps principal du flux d'air. Il a un effet moins prononcé sur le flux d'air et la perte de charge que la surface épinglée, avec un flux d'air relativement uniforme dans et hors des ailettes.

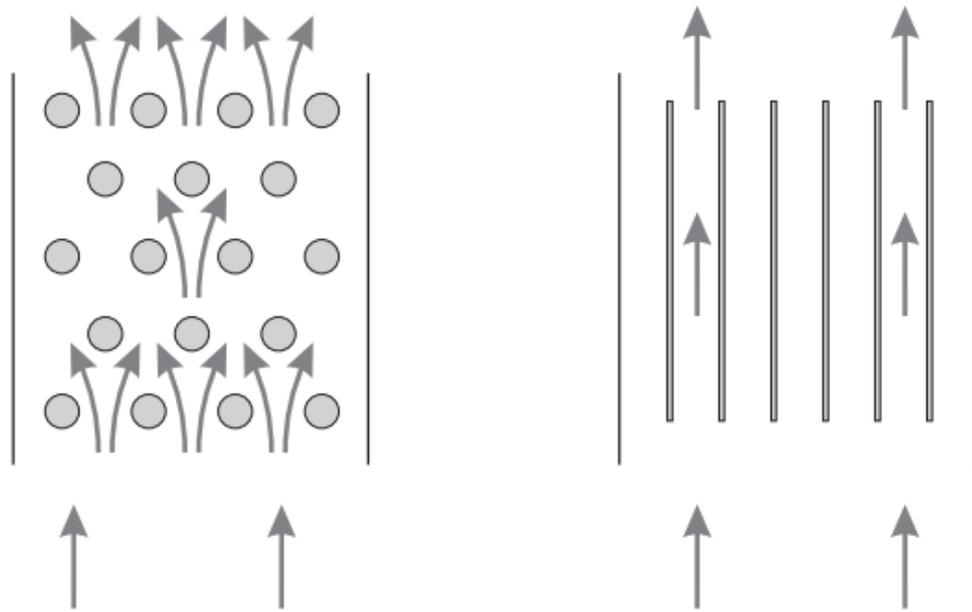


Figure 15 : Comparaison du flux d'air à travers les surfaces épinglées et à ailettes

5. Retard et gradient thermiques

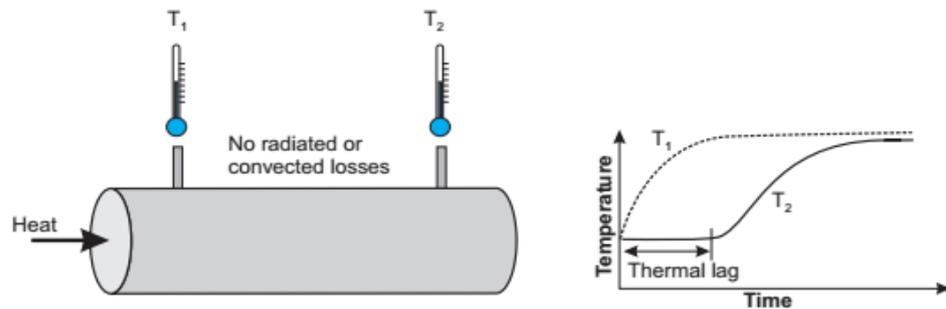


Figure 16 :Retard thermique - En supposant qu'il n'y a pas de pertes

En utilisant la figure 16 pour référence, comme indiqué précédemment dans cette théorie, lorsque vous chauffez une extrémité d'un conducteur, l'énergie thermique se déplace le long du conducteur par conduction. Il faut du temps pour que l'énergie thermique se déplace d'une partie du conducteur à une autre - déterminée par les propriétés thermiques du matériau et ses dimensions (sa conductance thermique ou sa résistance). En supposant qu'il n'y a pas de pertes, cette énergie thermique se propage autour du conducteur jusqu'à ce que tout le conducteur atteigne l'équilibre et que toutes les pièces soient à la même température. Le temps nécessaire à l'énergie thermique pour passer de T_1 à T_2 est le retard thermique.

Dans les applications réelles, les pertes de rayonnement et de convection affectent la quantité d'énergie thermique qui atteint les parties les plus éloignées du conducteur et donc leur température, de sorte que les points les plus éloignés peuvent ne jamais atteindre la même température que le point proche de la source de chaleur. Le conducteur présente alors un gradient thermique sur sa longueur.

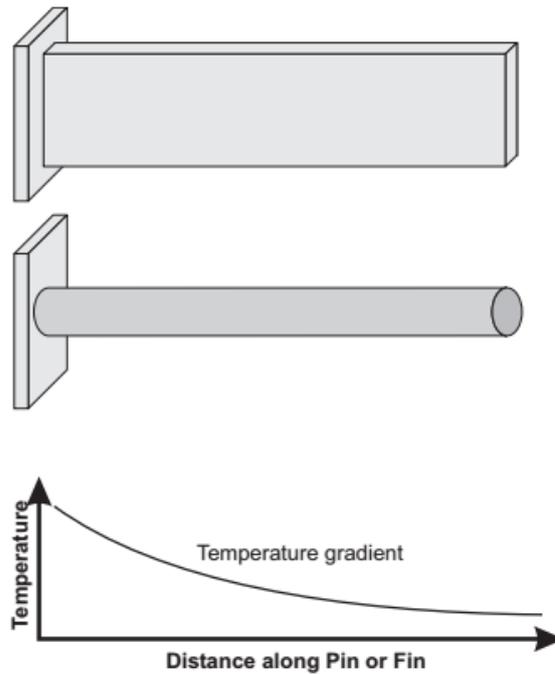


Figure 18 : Gradient thermique

6. Coefficient de transfert de chaleur (convectif) (h_c)

Le coefficient de transfert de chaleur est la capacité d'un matériau à conduire la chaleur vers un autre matériau.

Un transfert de chaleur par convection se produit entre la surface d'un matériau et un fluide en mouvement. L'ébullition et la condensation de liquides sont des exemples de transfert de chaleur par convection.

Les valeurs typiques du transfert de chaleur vers l'air sont:

5 à 25 W/m^2K en convection libre

10 à 200 W/m^2K en convection forcée

(montrant que la chaleur se transmet mieux à l'air en convection forcée qu'en convection libre).

$$h_c = \frac{\dot{Q}}{A_s \times T_m}$$

Où T_m = température moyenne logarithmique et Q est le flux de chaleur de la surface vers l'air.

$$T_m = \frac{T_{OUT} - T_{IN}}{\log \frac{T_S - T_{IN}}{T_S - T_{OUT}}} \quad (\log \text{ is natural } \log_e \text{ or } \ln)$$

7. Numéro de Nusselt (Nu)

Un nombre Nusselt s'applique au transfert de chaleur. Il s'agit d'une valeur sans dimension du rapport entre le transfert de chaleur convectif et conducteur à travers une frontière. Il peut également donner une indication de l'écoulement convectif - un nombre faible (proche de 1) indique que l'écoulement est laminaire, tandis qu'un nombre élevé (supérieur à 100) indique que l'écoulement est turbulent.

$$Nu = \frac{h_c \times L}{k_{air}}$$

Où L est la longueur de la surface sur laquelle l'air se déplace (pour la plaque plane, il s'agit simplement de la longueur de la plaque).