

## Description du module d'étude du transfert thermique le long d'un barreau (TD1002C)

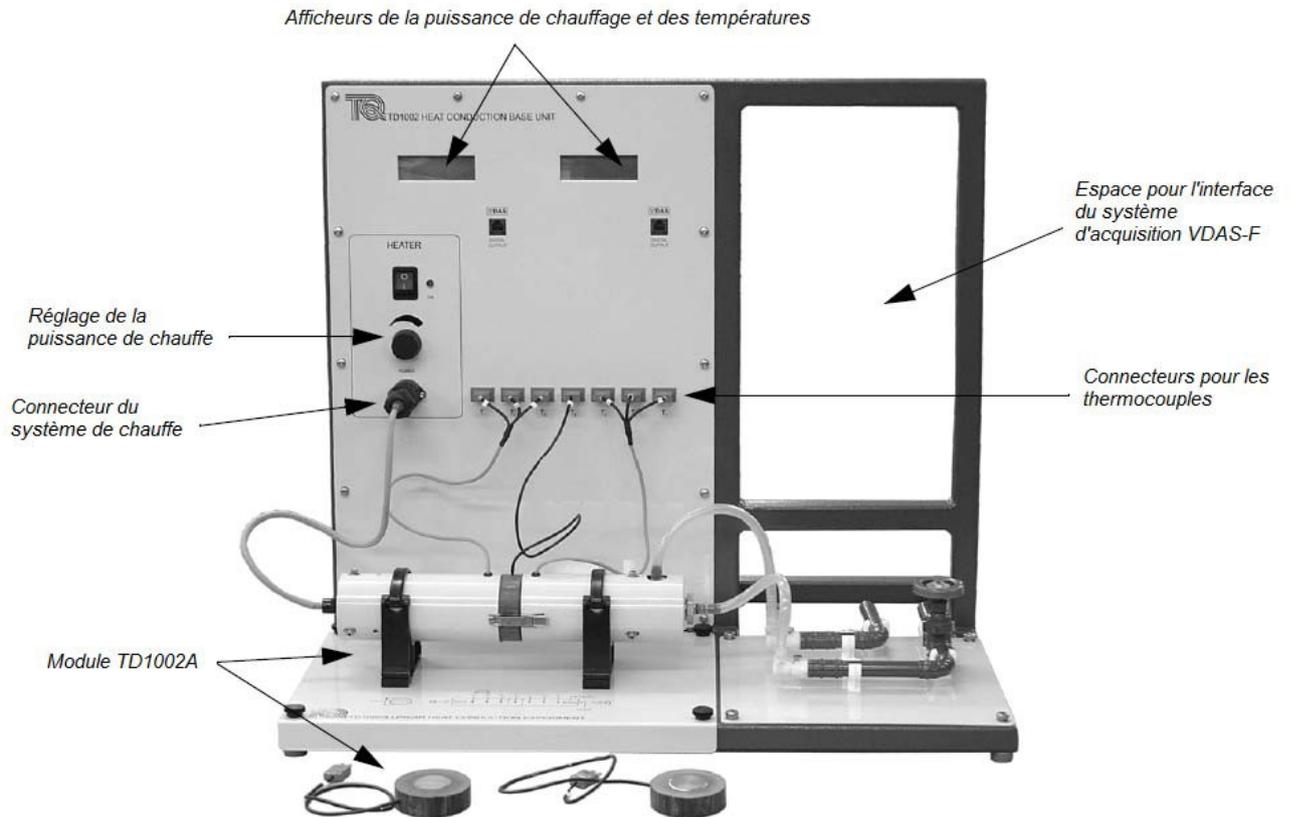


Figure 1 – Module de base TD1002 équipé du module TD1002A

### Le module de base (TD1002)

#### REMARQUE



*Vous avez besoin au minimum d'un des modules expérimentaux proposés en complément. Le module de base seul ne permet pas de réaliser aucune expérience.*

Le module de base est l'élément principal de cet ensemble modulaire d'étude des transferts thermiques. C'est un banc de table compact qui nécessite une alimentation électrique adaptée, une alimentation en eau froide et une évacuation en eau.

Ce module de base possède une alimentation électrique base tension et sécurisée pour le chauffage des modules expérimentaux proposés en complément. Il permet aussi de visualiser les températures mesurées par les thermocouples qui équipent les modules expérimentaux.

Deux afficheurs numériques permettent de visualiser la puissance de chauffe et les températures mesurées par les thermocouples des modules expérimentaux.

A côté de chaque afficheur numérique, est placé un connecteur pour relier le module de base au système universel d'acquisition de données de TecQuipment proposé en option. Le système d'acquisition de données nécessite un ordinateur adapté, non fourni.

Le système modulaire TD1002 est une très bonne introduction pour l'étude des transferts thermiques.

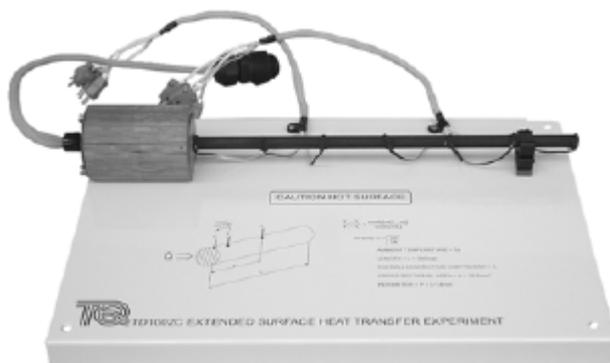


Figure 2 Module d'étude du transfert thermique le long d'un barreau (TD1002C)

Ce module permet d'étudier la conduction, la convection naturelle et le rayonnement de chaleur le long de la section transversale circulaire horizontale d'un barreau (ou barre) plein en cuivre à l'atmosphère. C'est un processus de transfert thermique par conduction, convection et rayonnement.

Il possède un élément chauffant électrique à une extrémité pour produire la chaleur (la 'source de chaleur'). Un matériau isolant entoure l'élément chauffant pour réduire la perte de chaleur par le rayonnement et convection au niveau de l'élément chauffant, permettant d'obtenir des résultats plus précis et comparable avec la théorie. Un thermo contacteur de sécurité à côté de l'élément chauffant fonctionne avec l'unité de base pour couper l'alimentation électrique de l'élément chauffant si celui-ci venait à trop chauffer.

Sept thermocouples positionnés à distances équivalentes mesurent le gradient de température **le long de la surface du barreau**. Le barreau est revêtu d'une couche noire mate pour fournir une valeur d'émissivité constante prévisible de valeur d'environ 1 pour les calculs de transfert thermique par rayonnement.

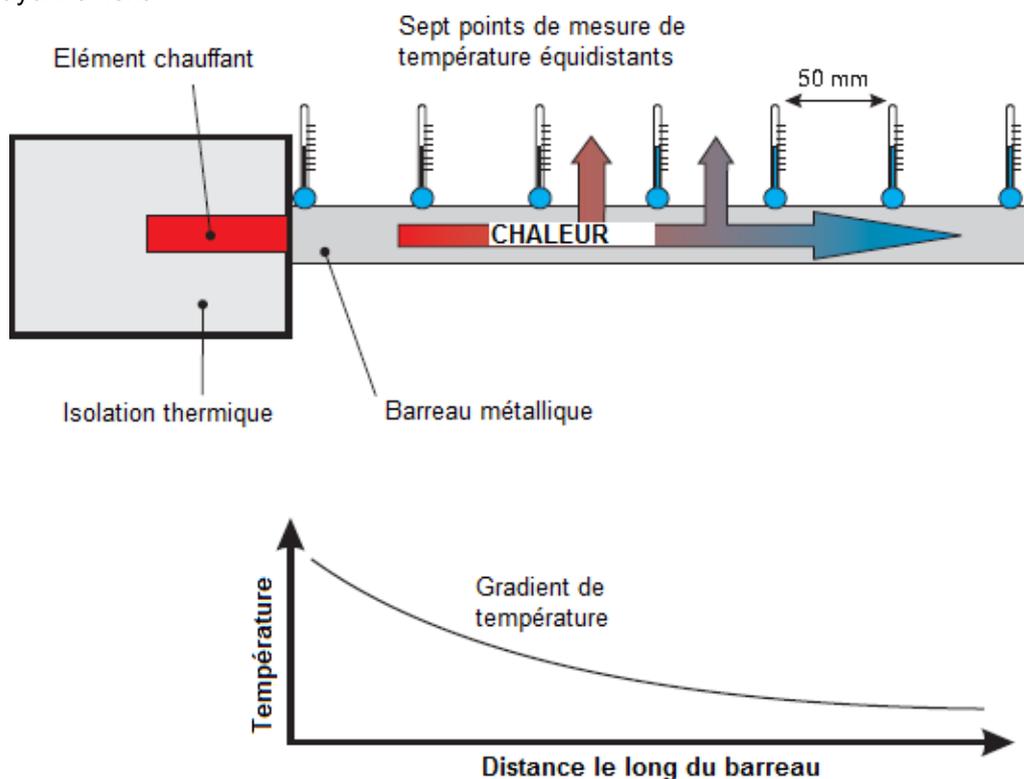


Figure 3 – Fonctionnement du Module d'étude du transfert thermique le long d'un barreau (TD1002C)

## Système universel d'acquisition de données (VDAS)

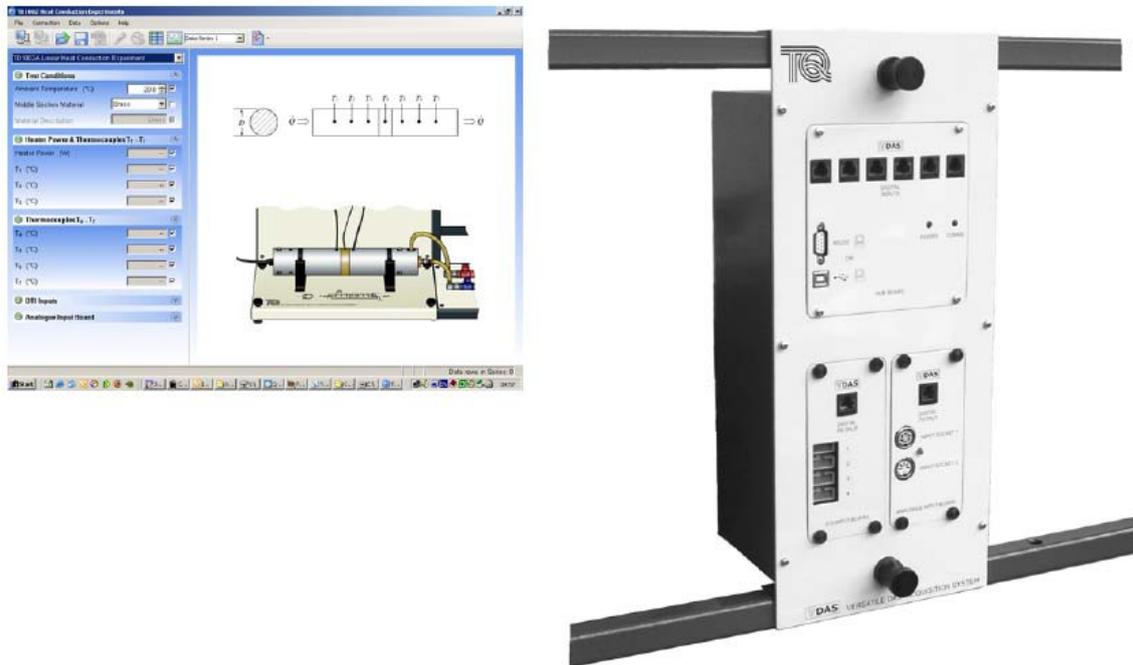


Figure 4 – Le système d'acquisition de données VDAS (interface et logiciel).

Le système universel d'acquisition de données de TecQuipment VDAS est un complément proposé en option à l'ensemble modulaire d'étude des transferts thermiques TD1002. Il est composé de deux éléments, une interface et un logiciel, qui permettent :

- Une acquisition automatique des données de chaque expérience
- Des calculs automatiques à partir des grandeurs acquises
- Un gain de temps
- Une réduction des erreurs
- Une création de tableaux et de graphiques à partir des données acquises ou calculées
- Une exportation des données pour un traitement par un autre logiciel

### REMARQUE



*Vous avez besoin d'un ordinateur adapté pour utiliser le système VDAS. Il n'est pas fourni avec le système d'acquisition.*

## Détails techniques

### Module de base :

<i>Sujet</i>	<i>Informations</i>
Dimensions	L x p x h : 650 x 480 x 590 mm
Poids	24 kg
Alimentation électrique	Monophasée 50 à 60 Hz 100 V à 120 V à 5A ou 220 à 240 V à 5A
Fusible	Intégré dans le connecteur d'alimentation : 20 mm, 6,3A en céramique de type F
Alimentation en eau froide et évacuation requises	Alimentation en eau froide et propre avec une température comprise entre 5 et 15°C et évacuation en eau standard Remarque : si votre alimentation fournit une eau trop chaude (au-dessus de 15°C), il est nécessaire d'alimentation votre appareil à partir d'un refroidisseur d'eau. Si vous utilisez de l'eau au-dessus de la température ambiante, vous ne pourrez jamais atteindre un équilibre thermique dans vos essais.
Entrées pour thermocouple	7 pour des thermocouples de type K avec une résolution de 0,1°C et une précision de $\pm 0,3^\circ\text{C}$ .
Sortie chauffage et afficheur	Puissance maximale d'environ 100W Résolution de 0,1W

### Module complémentaire :

<i>Module</i>	<i>Informations techniques</i>
<b>Module d'étude du transfert thermique le long d'un barreau (TD1002C)</b>	Dimensions nets : 280 mm de largeur x 430 mm de profondeur x 90 mm de hauteur et 2 kg  Matériau du barreau : Cuivre (type CZ121) Diamètre de 10 mm et section transversale de 0.0000785 m <sup>2</sup> Longueur de la surface nominale exposée : 300 mm  Positions des thermocouples : centres équidistants tous les 50 mm.

### Niveau de bruit

Le niveau de bruit enregistré à côté de cet appareil est inférieur à 70 dB(A)

## Montage et installation

Les termes de gauche, droite, avant et arrière pour cet appareil font référence à une position du manipulateur face à l'appareil.

### REMARQUE



- une couche de protection a peut-être été appliquée sur certaines pièces de cet appareil afin de les protéger de toute corrosion durant le transport. Enlever cette couche de protection en utilisant de la parafine ou du white spirit en utilisant une brosse ou un chiffon doux  
- Suivre la réglementation en vigueur dans votre pays pour l'installation, le fonctionnement et la maintenance de cet appareil

## Emplacement pour l'installation

Utiliser l'appareil d'étude des transferts thermiques dans un local de type classe ou laboratoire adapté et propre. Placer l'appareil sur une table solide et de niveau.

Le module d'étude nécessite une surface de 650 x 480 mm. Si vous utilisez le système d'acquisition proposé en complément, vous devez avoir un ordinateur à proximité du module.

## Montage du module d'expérience

Le module d'étude est déjà assemblé. Référer vous aux instructions d'installation pour les modules d'expériences et les informations sur le montage du module expérimental.

## Raccordement électrique

Utilisez le câble fourni avec le module de base pour le brancher à une alimentation électrique.

### ATTENTION



***Vous devez raccorder l'appareil à une alimentation électrique via un commutateur, un coupe-circuit ou une prise de courant adapté à votre réseau électrique et à la réglementation en vigueur. L'appareil doit être raccordé à la terre.***

La correspondance des couleurs des câbles est :

**VERT et JAUNE** : la terre ou   
**MARRON** : la phase  
**BLEU** : le neutre

## Raccordement au système d'acquisition VDAS®

Si vous utilisez le système d'acquisition automatique de données VDAS® proposé en option, vous devez lire le manuel d'utilisation fourni avec le système VDAS®. Le raccordement se fait avec les câbles fournis avec le système d'acquisition entre les prises sur la face avant du module de base et l'interface du système d'acquisition, puis entre cette interface et un port USB de votre ordinateur.

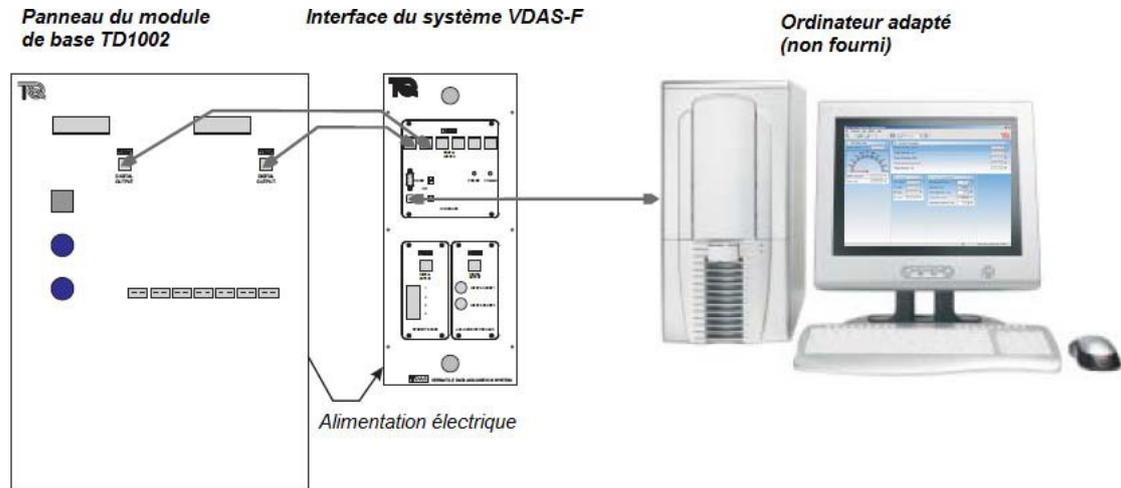


Figure 5 – Raccordement du système d'acquisition

## Notations, théorie et équations utiles

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

### Notations utilisées

Symbole	Définition	Unités
$S$ ou $A_s$	Section (S) ou air de la surface ( $A_s$ )	$m^2$
$D$ ou $D_m$	Diamètre ou Diamètre au centre	m
$h_c$	Coefficients de transfert de chaleur par convection ( $h_c$ )	$W/m^2.K$
$P$	Périmètre	m
$r$	Rayon	m
$\Delta r$	Espace radial	m
$L$	Longueur ou épaisseur	m
$x$	Une distance	m
$Q$	Quantité de chaleur	J
$\dot{Q}$	Energie transférée par unité de temps (débit de chaleur)	W
$T$ $T_a$ $T_i$ $T_x$ $\Delta T$ $T_m$	Température Température ambiante Température en une position donnée Température en un point donné d'une longueur Différence de température Température moyenne	K ou °C
$k$	Conductibilité thermique	$W/m.K$
$\sigma$	Constante de Stefan-Boltzmann	$5,67 \times 10^8 W/m^2.K$

## 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.

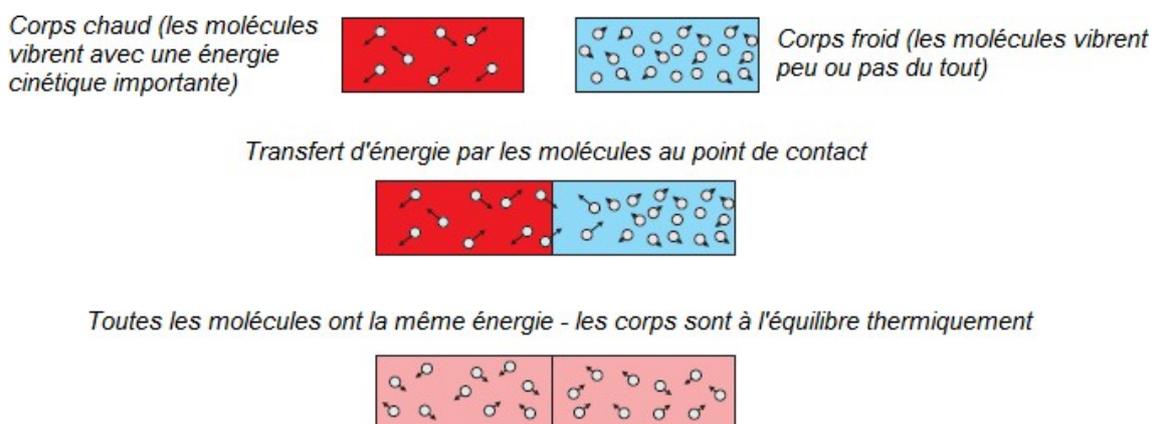


Figure 6 – Transferts de chaleur entre un corps chaud et un corps froid

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.

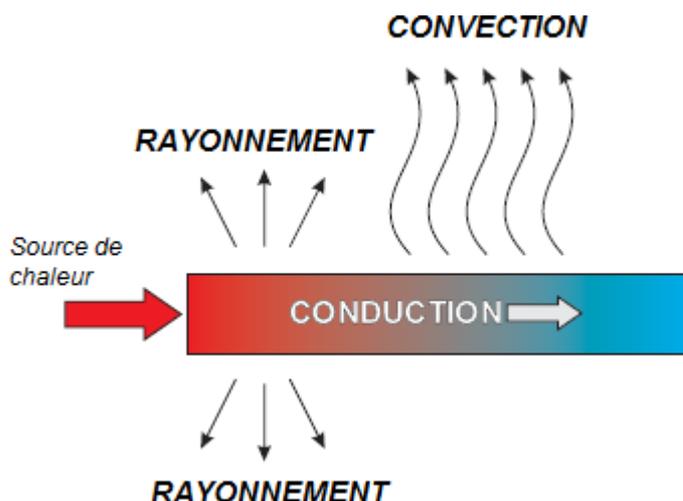


Figure 7 – Les 3 modes de transmission de la chaleur : conduction, convection et rayonnement.

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.

## 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.

Le tableau 1 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.

### 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.*

Les données du tableau 1 sont pour des 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

Tableau 1 – Conductivité thermique pour différents matériaux à la température ambiante.

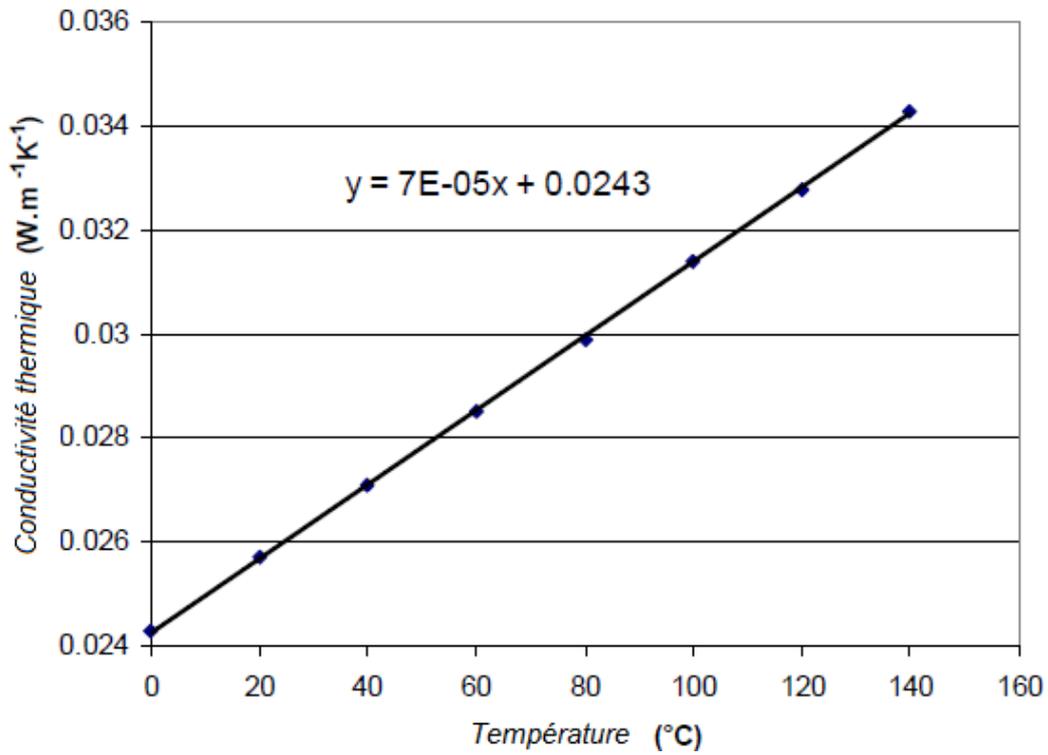
**Conductivité thermique de l'air en fonction de la température**

Figure 7 – Influence de la température sur la conductivité de l'air

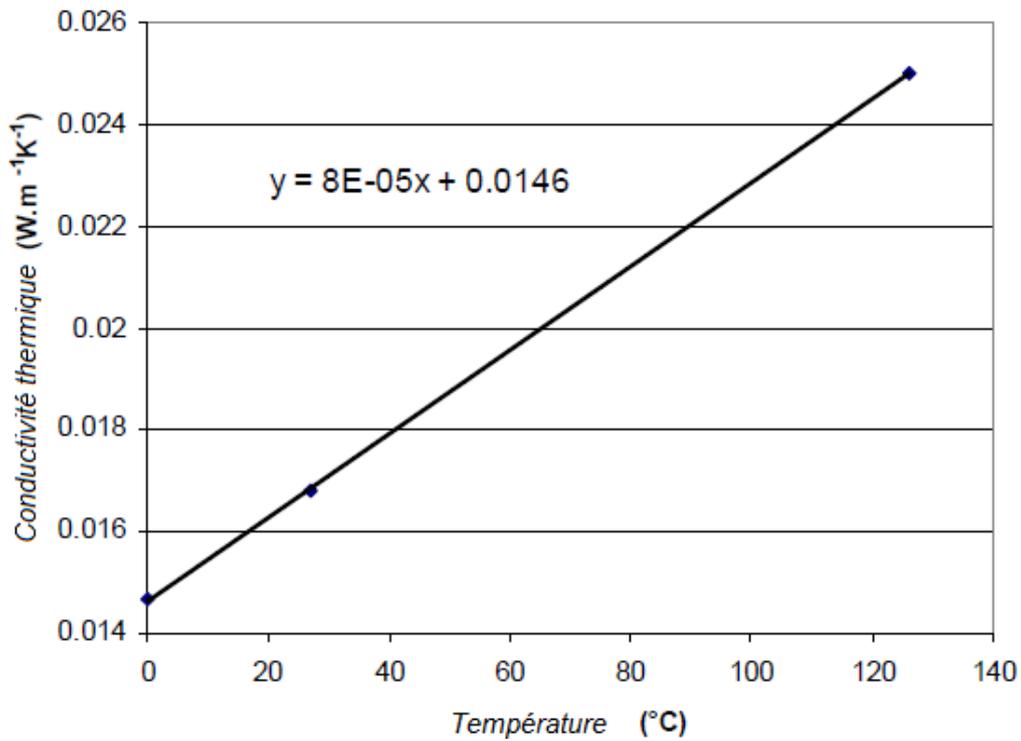
**Conductivité thermique du CO<sub>2</sub> en fonction de la température**

Figure 8 – Conductivité thermique du dioxyde de carbone

## 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 ( $P$ ) = Tension ( $U$ ) aux borne de la résistance X Courant ( $I$ ) la traversant

Ainsi :

$$P = U \cdot I$$

La quantité de chaleur 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 :

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

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

Ainsi :

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

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

## La conduction linéaire de la chaleur

Si on considère une barre de section circulaire comme présentée sur la Figure 9 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  $T_2$ .

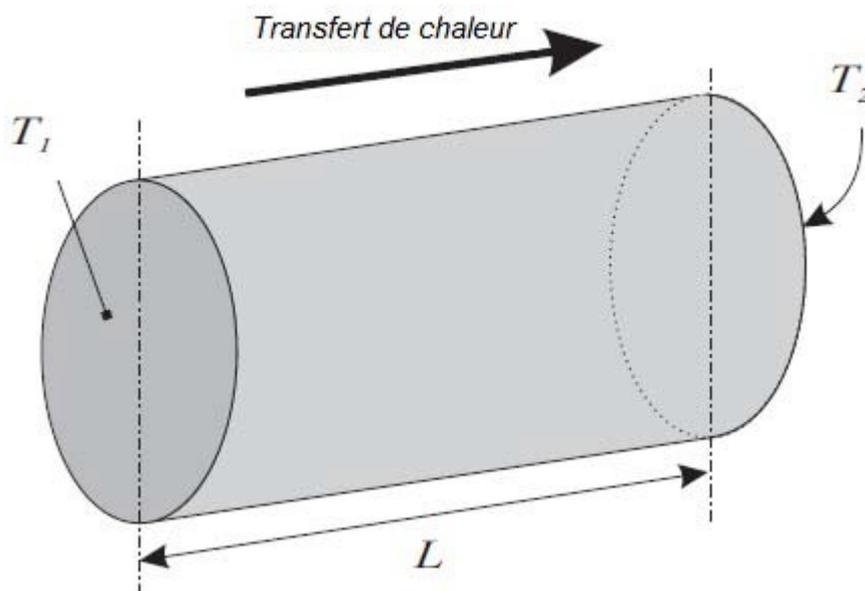


Figure 9 – Transfert de chaleur dans une barre de section circulaire

**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 9, le gradient de température est alors :

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

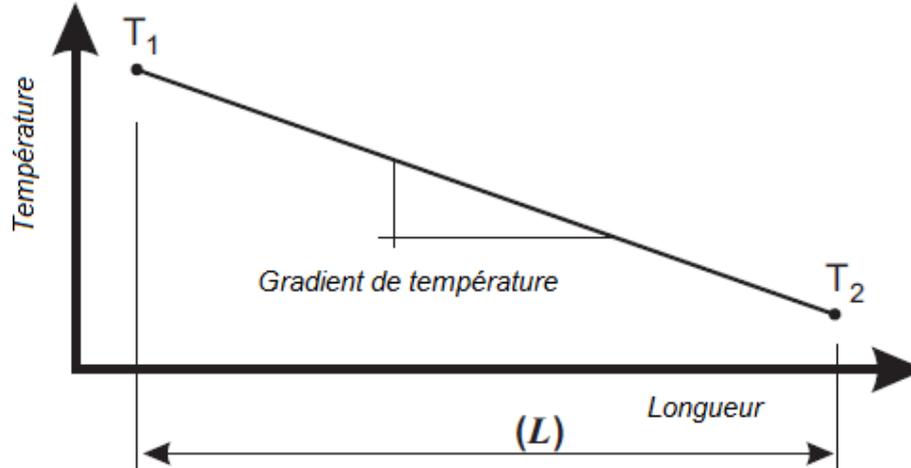


Figure 10 – Le gradient de température

- 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.

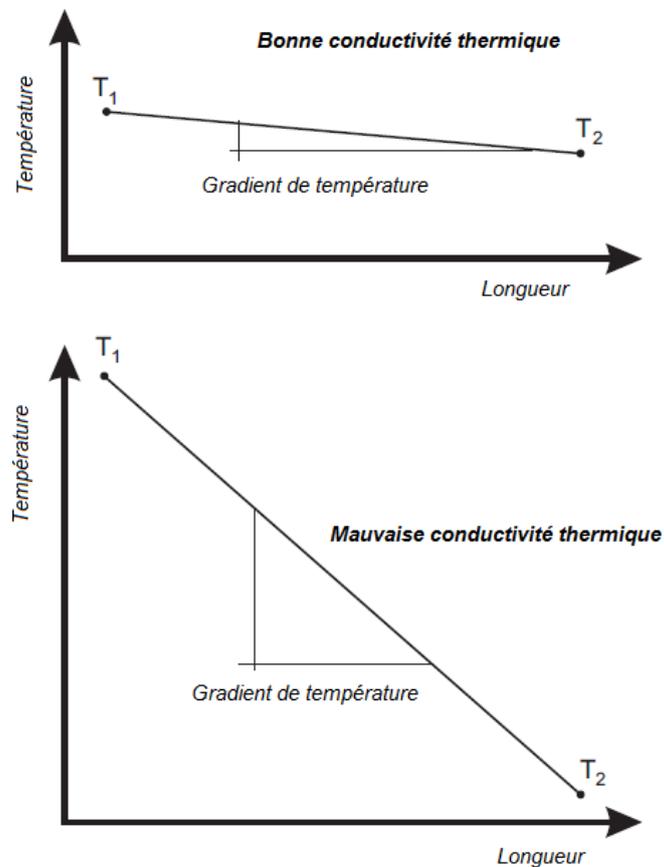


Figure 11 – Bon et mauvais conducteurs thermiques

**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 18, l'équation avec la section transversale  $S$  et la longueur  $L$  entre les deux sections où la température est mesurée, est alors :

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

Ou comme montré précédemment :

$$P = k.S.\frac{T_1 - T_2}{L} \quad (3)$$

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

$$\frac{Q}{S.t} = k.\frac{T_1 - T_2}{L}$$

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

$$k = \frac{Q.L}{(T_1 - T_2).S.t} \quad (4)$$

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

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

$$k = \frac{P.L}{(T_1 - T_2).S} \quad (5)$$

**REMARQUE**

*Ces équations sont le cadre de conditions idéales où le seul mode de transfert de la chaleur est la conduction et où il n'y a pas d'échange avec l'environnement par convection ou rayonnement.*

*Les équations pour déterminer la conductivité thermique utilise les dimensions du matériau, mais c'est en fait une mesure des propriétés du matériau qui ne dépendent pas de sa forme ou de sa taille. Un grand morceau d'acier a la même conductivité thermique qu'un petit morceau.*

## 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 :

$$h = h_r + h_c$$

### 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  $T_{mean}$  est la valeur moyenne des températures le long du cylindre ou de la barre (en °K).

Pour économiser du temps, TecQuipment a effectué des essais pour vous aider à choisir une valeur totale de  $h$  ( $h_c + h_r$ ), 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 ( $h = h_c + h_r$ ) à une puissance donnée dans des conditions normales de laboratoire.**

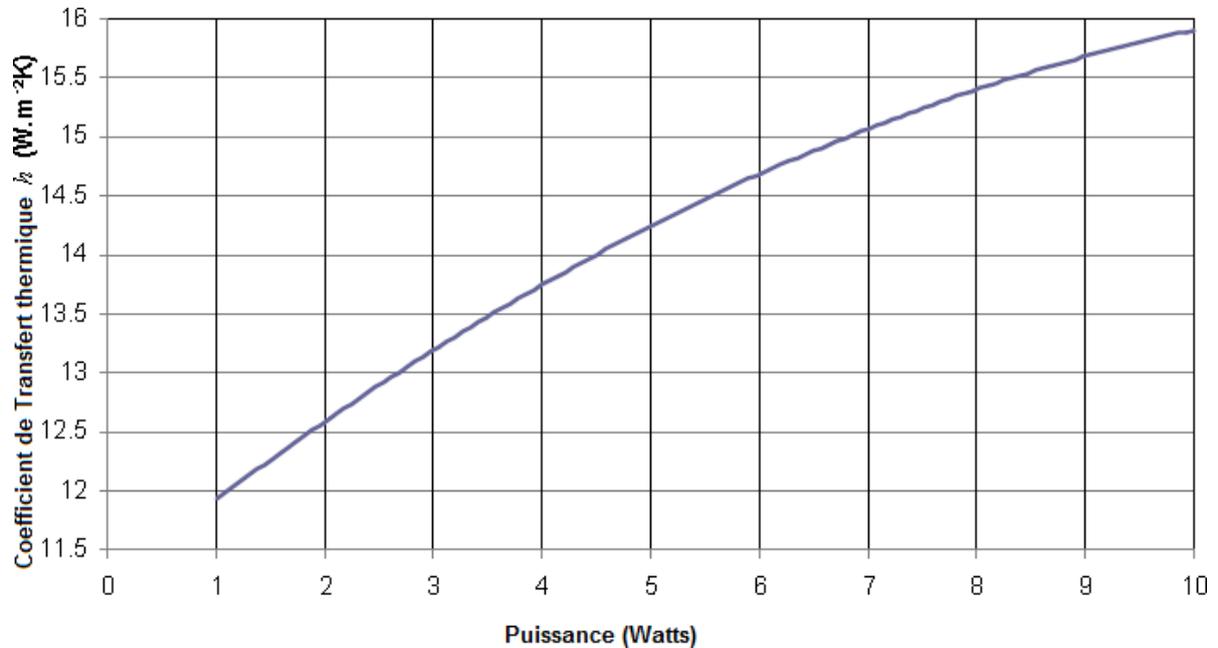


Figure 12 Graphique TecQuipment pour vous aider à déterminer  $h$

### Prédiction des Températures

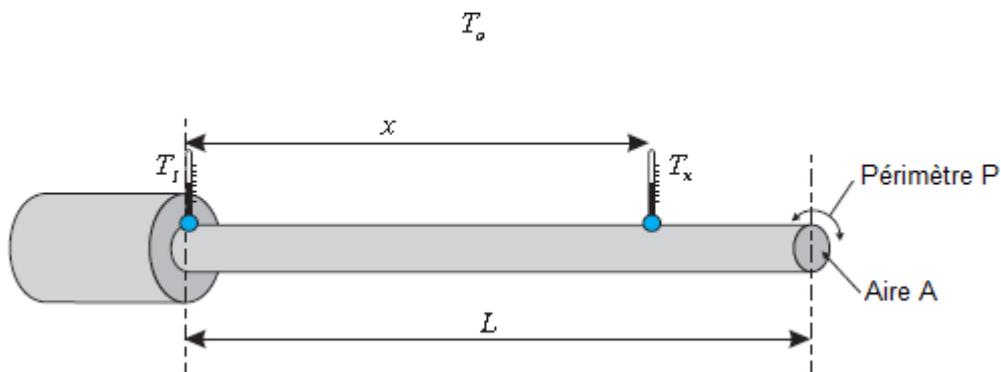


Figure 13 Prédiction des températures

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 13.

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

D'où

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

Ou

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

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.

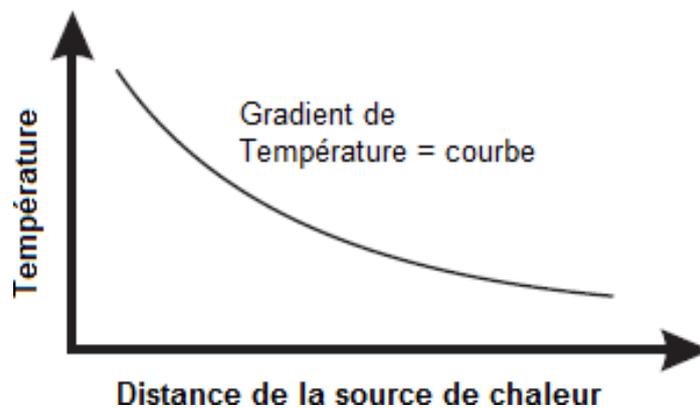


Figure 14 Températures le long du barreau

### 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).

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

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

## Conductance thermique $G$ et résistance thermique $R$

REMARQUE



Ne pas confondre la conductance thermique et la conductivité thermique. Ce sont des grandeurs différentes avec 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 :

$$G = k \cdot \frac{S}{L} \text{ en } W/K$$

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.

$$R = \frac{L}{k \cdot S} \text{ en } \frac{K}{W} \quad (15)$$

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 15). 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.

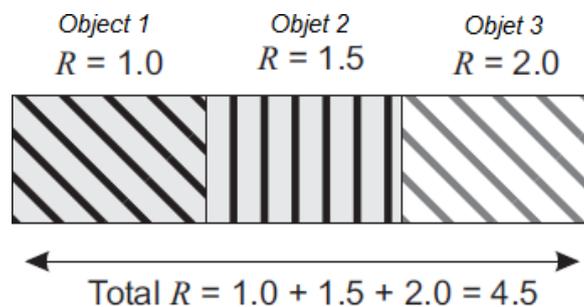


Figure 15 – Addition des résistances thermiques

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 :

$$k = \frac{L}{R \cdot S}$$

REMARQUE



Dans ces équations,  $S$  est la surface en contact entre les différents objets qui, dans les applications réelles, n'est pas la surface apparente du corps.

## Le retard thermique

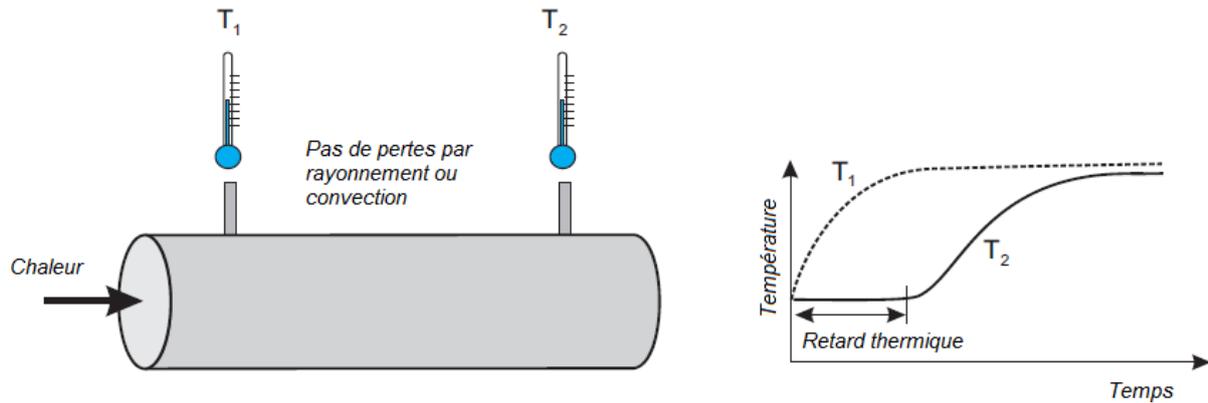


Figure 16 – Le retard thermique avec l'hypothèse qu'il n'y a pas de pertes de chaleur

Avec la Figure 16, 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). 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.

## Expérience

### Remarques utiles

#### ***Les températures locales :***

La température ambiante et celle de l'eau de refroidissement auront une influence sur vos résultats. Assurez-vous que vos expériences sont réalisées dans un local à température constante et que la température de l'eau de refroidissement ne varie pas. Les résultats fournis par TecQuipment ont été réalisés avec une température ambiante d'environ 20°C et une température d'eau de refroidissement compris entre 10 et 15°C.

#### ***Au minimum deux personnes***

L'équipement fourni est simple à utiliser, cependant vous devez enregistrer plusieurs grandeurs lors de vos expériences. TecQuipment recommande que les expériences soient réalisées par au moins deux personnes en même temps, une personne notant les valeurs mesurées, la seconde contrôlant l'expérience.

#### ***L'équilibre thermique pour des résultats précis***

Vos résultats seront plus précis si vous attendez que les températures se stabilisent avant de noter vos résultats. Il est nécessaire d'atteindre « l'équilibre thermique » et cela peut nécessiter plus de 30 minutes.

### Montage de l'expérience

1. Vérifier que le module de base n'est pas alimenté, ainsi que la résistance de chauffe.
2. Mettre en place le module expérimental étudié sur le module de base. Utiliser les vis moletées pour le fixer
3. Connecter les thermocouples de votre module expérimental aux connecteurs placés sur le module de base en respectant la numérotation. Connecter le câble de puissance du module expérimental à la prise sur le module de base.
4. Alimenter électriquement le module. Vérifier que le système de chauffage est au minimum, puis appuyer sur le bouton de ce système.

**Expérience : Transfert thermique le long d'un barreau (ailette ou surface étendue)****Objectifs**

- Montrer comment la chaleur est transférée (par convection) de la surface d'une barre solide ou d'une tige.
- Montrer comment vous pouvez prédire les températures sur la barre et le flux thermique vers le milieu environnant.

**Procédure**

1. Raccordez et mettez en place le module expérimental comme indiqué dans le chapitre **Montage de l'expérience**.
2. Créez un tableau de résultats vierge, similaire au Tableau 2. Si vous possédez le système d'acquisition de données VDAS, sélectionnez l'expérience correspondante. Le logiciel créera un tableau pour vous automatiquement lorsque vous commencerez à relever des valeurs.

Expérience :							
Température ambiante :							
Puissance (W)	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)	T <sub>3</sub> (°C)	T <sub>4</sub> (°C)	T <sub>5</sub> (°C)	T <sub>6</sub> (°C)	T <sub>7</sub> (°C)
Distance à partir de T <sub>1</sub> (m)	0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,3

Tableau 2 Tableau de résultats vierge

3. Utilisez un thermomètre de précision pour vérifier la température de l'air ambiante locale pour référence.
4. Allumez l'élément chauffant et réglez sa puissance à 7 watts. Réglez la puissance jusqu'à ce que T<sub>1</sub> se stabilise vers 90°C.

**DANGER**

**Ne dépasser pas une puissance de 10 W, ou la température du barreau au niveau du premier thermocouple atteindra une température supérieure à 100°C**

5. **Attendez au moins 30 minutes que les températures se stabilisent** et ensuite enregistrer T<sub>1</sub> à T<sub>7</sub>.

REMARQUE



*Vous devez conserver des conditions ambiantes stables autour de l'appareil. Cette expérience nécessite une convection naturelle stabilisée, donc même lorsque relevez des valeurs, vous devrez bouger lentement, pour éviter tout déplacement d'air autour de l'appareil.*

6. Pour effectuer des comparatifs, répétez l'essai à une ou plusieurs puissances inférieures à 10 W au niveau de l'élément chauffant.
7. Éteignez l'élément chauffant.

### Analyse des résultats

A partir des résultats pour chaque réglage de puissance, tracez les graphiques représentatifs de la température en fonction de la distance le long du barreau, par rapport au premier thermocouple ( $T_1$ ) (voir la Figure 17). Vous devriez être capables de tracer une courbe à partir de vos résultats.

La pente totale de la courbe n'est pas importante, mais la forme devrait prouver la relation non linéaire entre la distance et la température dans le cas d'un transfert de chaleur d'une surface étendue.

Utilisez la valeur moyenne de vos résultats pour déterminer la valeur de  $h$  ( $h_r + h_c$ ) ou à partir du graphe fourni par TecQuipment et utilisez-le pour déterminer  $m$  et prédire les températures le long du barreau.

Ajoutez les températures théoriques à vos graphes pour comparaison.

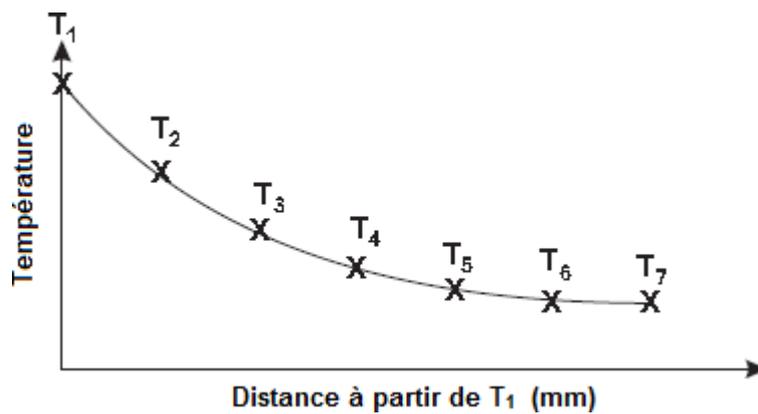


Figure 17 Graphe pour l'expérience sur le transfert thermique le long d'un barreau

Utilisez les équations fournies dans la section sur la théorie pour prédire le flux de chaleur à partir du barreau. Rappelez-vous de vérifier si la température à l'extrémité du barreau est égale à ou au-dessus de la température ambiante - pour déterminer quelle équation vous devrez utiliser.

REMARQUE



Utilisez la valeur donnée de  $k$  (voir le Tableau 1 – Conductivité thermique pour différents matériaux à la température ambiante) pour tous ces calculs.

Pouvez-vous expliquer l'origine des erreurs - s'il y en a ?

## Exemples de résultats

### Température de surface le long du barreau à 10 W

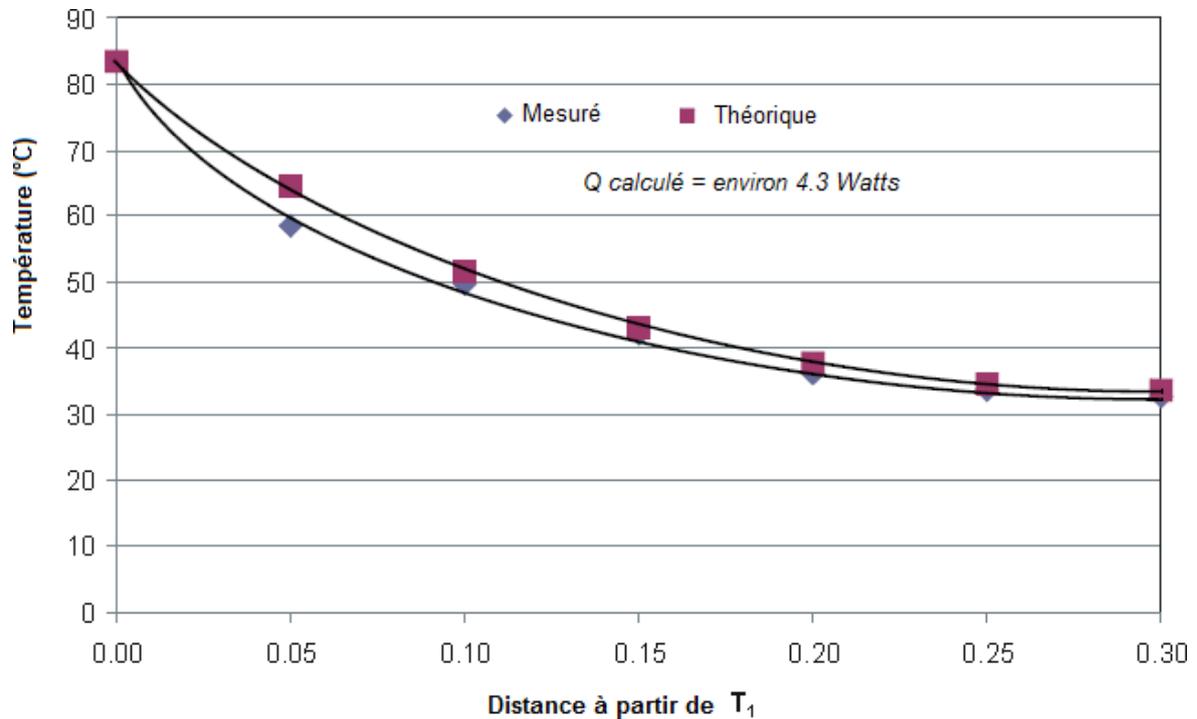


Figure 18 Résultats types pour l'expérience de la surface étendue.

La théorie permet de prédire les températures avec une précision raisonnable. Mais, comme mentionné, elles sont sur une courbe déterminée par les conditions locales. Pour cette raison, vous devez faire attention de conserver des conditions ambiantes stables pendant toute l'expérience.

Pour toutes les puissances absorbées jusqu'à 10 W, la valeur théorique du flux de chaleur  $Q$  est à peu près égale à la moitié de la puissance réelle appliquée, suggérant ainsi que la moitié de la puissance de l'élément chauffant ne passe pas le long du barreau. Les puissances sont faibles pour maintenir des températures faibles au niveau du premier thermocouple pour des raisons de sécurité. Cependant, avec ces faibles puissances, même de petits facteurs engendreront des erreurs significatives, telles que :

- les faibles pertes de chaleur renvoyées par les câbles électriques en cuivre de l'élément chauffant (vous observez qu'ils deviennent chauds pendant l'expérience).
- les résistances thermiques des matériaux et des jonctions entre l'élément chauffant et le barreau.
- les fils métalliques des thermocouples conduisant la chaleur vers l'extérieur

De même, la théorie dans la littérature fait la supposition d'une convection naturelle uniforme autour du barreau, mais en pratique le barreau subit des obstructions mineures à l'écoulement naturel, réduisant le flux de chaleur. Ceux-ci incluent les fils de thermocouple, le clip qui maintient l'extrémité du barreau de manière stable à la plaque directement en dessous. L'orientation d'une surface convective et son environnement sont essentiels dans des applications réelles de refroidissement.

Pour réduire les effets de certains de ces facteurs, le module nécessiterait de fonctionner à des températures élevées, ce qui nécessiterait des garde-corps de sécurité, et créerait plus de problèmes pour réduire la convection naturelle autour du barreau.

## **Manuels utiles**

### ***Basic Engineering Thermodynamics***

By Rayner Joel

Published by Longman

ISBN 0-582-25629-1

### ***Engineering Thermodynamics***

By G.F.C Rogers and Y.R Mayhew

Published by Longman

ISBN 0-582-02704-7

### ***Heat Transfer***

By J.P Holman

Published by McGraw Hill

ISBN 978-0-07-352936-3