

Conduction thermique

MESURER LA CONDUCTION THERMIQUE DANS DES BARRES METALLIQUES.

- Mesurer la courbe de température le long de barres métalliques chauffées d'un côté et refroidies de l'autre, à l'état non stationnaire et stationnaire.
- Mesurer le courant thermique à l'état stationnaire.
- Déterminer la conductivité thermique du matériau de la barre.

UE2020100

11/15 UD

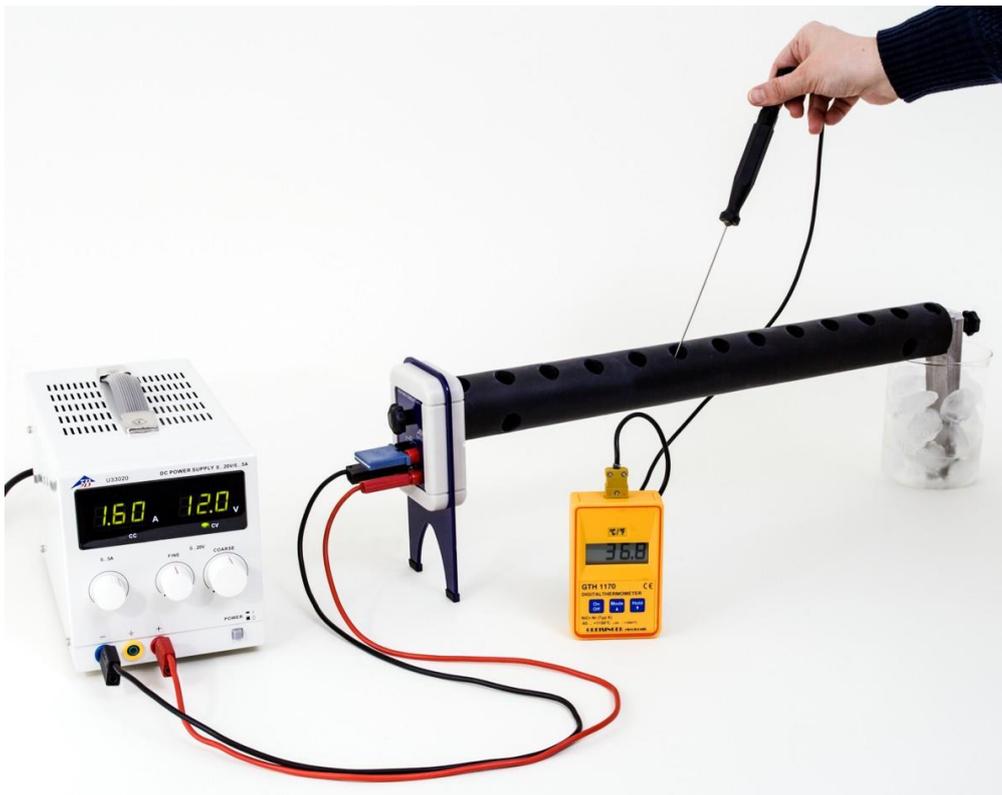


Fig. 1 : Disposition pour mesure.

NOTIONS DE BASE GENERALES

La chaleur peut être transmise d'une zone chaude à une zone froide par conduction thermique, rayonnement thermique et convection. En conduction thermique, ce transport d'énergie s'effectue par l'interaction entre les atomes ou molécules voisins, sans que ceux-ci ne soient eux-mêmes transportés. En cas de réchauffement par ex. d'une barre métallique, les atomes situés à l'extrémité chaude oscillent plus fortement, c'est-à-dire avec plus

d'énergie, qu'à l'extrémité froide. L'énergie est cédée aux atomes voisins par des chocs avec ceux-ci et transmise ainsi à travers la barre. Les métaux sont des conducteurs thermiques particulièrement bons, car ils profitent en plus des chocs entre des électrons libres et les atomes.

Dans une barre cylindrique de section de surface A , dont les extrémités sont maintenues à différentes températures, un gradient de température se stabilise après un certain temps le long de la barre, de sorte que la température T diminue régulièrement vers l'extrémité froide. Pendant un temps dt , une quantité d'énergie dQ traverse la section de la barre et il se forme un courant thermique constant P_Q :

$$(1) \quad P_Q = \frac{dQ}{dt} = -\lambda \cdot A \cdot \frac{dT}{dx}$$

P_Q : courant thermique (mesuré en watts)

A : surface de section de la barre

λ : conductivité thermique du matériau de la barre

T : température

x : coordonnées le long de la barre

Avant que le gradient de température constant ne soit atteint, la barre, au moment t , présente une répartition thermique $T(x,t)$, qui s'approche progressivement de l'état stationnaire. L'équation différentielle est appliquée :

$$(2) \quad \lambda \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}(x,t) - c \cdot \rho \cdot \frac{\partial T}{\partial t}(x,t) = 0,$$

c : chaleur spécifique et ρ : densité

ρ : densité du matériau de la barre

Dans le cas stationnaire, il y a concordance avec l'équation (1)

$$(3) \quad \frac{\partial T}{\partial t}(x,t) = 0 \text{ et } \lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x}(x,t) = \text{const.} = \frac{P_Q}{A}.$$

Dans l'expérience, la barre est chauffée électriquement à une extrémité. Une source de chaleur à régulation électronique alimente la barre de conduction avec un courant thermique qui peut être déterminé comme puissance électrique

$$(4) \quad P_{el} = U \cdot I$$

par la mesure de la tension de chauffage U et du courant de chauffage I . La régulation électronique du courant garantit que l'extrémité de la barre atteint très rapidement une température d'environ 90 °C, qui sera ensuite maintenue constante.

La chaleur à l'autre extrémité de la barre est évacuée via les lamelles de refroidissement dans de l'eau glacée ou tout simplement dans de l'eau à température ambiante. La puissance thermique cédée peut donc être déterminée par voie calorimétrique.

Une manchette isolante réduit le dégagement de chaleur de la barre de conduction à l'environnement et améliore la linéarité du profil de température à l'état stationnaire. Un thermomètre électronique ultrarapide mesure les températures aux points de mesure prévus le long de la barre. Vous disposez d'une barre en cuivre et d'une barre en aluminium.

LISTE DES APPAREILS

1	Kit d'appareils sur la conduction thermique	U8498290	1017329
1	Barre conductrice de chaleur (Al)	U8498292	1017331
1	Barre conductrice de chaleur (Cu)	U8498291	1017330
1	Alimentation CC 0 – 20 V, 5 A	U33020	1003311/2
1	Thermomètre de poche numérique ultra-rapide	U11853	1002803
1	Sonde à immersion NiCr-Ni type K, -65–550°C	U11854	1002804
1	Paire de cordons de sécurité, 75cm, rouge/bleu	U13816	1017718
1	Jeu de 10 béchers, forme basse	U14210	1002872

Equipements complémentaires recommandés :

2	Multimètres numériques P1035	U11806	1002781
---	------------------------------	--------	---------

L'eau glacée

MONTAGE ET REALISATION

Note :

L'expérience est réalisée à l'exemple d'une barre conductrice de chaleur en aluminium.

- Nettoyer les surfaces de la barre conductrice de chaleur et appliquer une très fine couche de pâte thermoconductrice.
- Visser le module chauffant sur la barre conductrice de chaleur avec la vis de fixation ; ajuster la barre de manière à ce que les trous (points de mesure de la température) soient orientés vers le haut.
- Glisser la manchette isolante au-dessus de la barre conductrice de chaleur et ajuster les évidements de la mousse au-dessus des points de mesure de température.
- Visser sans serrer la paire de lamelles à l'extrémité de la barre avec la vis de fixation, l'aligner dans le récipient de refroidissement (bêcher), puis serrer.
- Remplir le bêcher d'eau glacée et, le cas échéant, renouveler celle-ci au cours de l'expérience.
- Brancher le bloc d'alimentation CC aux douilles de connexion pour obtenir une alimentation électrique. Observer impérativement la polarité : rouge = pôle positif. Ponter la deuxième paire de douilles au moyen de la fiche de court-circuit.
- Pour mesurer le courant de chauffage, à la place de la fiche de court-circuit, brancher un ampèremètre à la paire de douilles supérieure.
- Pour déterminer avec le plus de précision possible la puissance électrique absorbée (produit de la tension et du courant de chauffage), mesurer la tension directement sur le module chauffant via la paire de douilles inférieure et ne pas la lire sur le dispositif d'alimentation électrique.
- Mesurer la température avec un thermomètre électronique (palpeur ultrarapide avec thermocouple) dans des intervalles si possible identiques aux points de mesure 1 à 13 de la barre conductrice de chaleur (Tab. 1). Auparavant, appliquer une petite quantité de pâte thermoconductrice dans les points de mesure.
- Effectuer plusieurs séries de mesures, par ex. dans un intervalle de 150 s, jusqu'à obtenir l'état stationnaire (Tab. 1).

EXEMPLE DE MESURE

Tension de chauffage U : 12 V
 Courant de chauffage I : 1,6 A

Tab. 1 : Points de mesure N , écarts des points de mesure x et températures T aux points de mesure pour cinq séries de mesure réalisées dans un intervalle de 150 s.

N	x / cm	T / °C				
		t = 0 s	t = 150 s	t = 300 s	t = 350 s	t = 400 s
1	1	88,7	88,8	90,0	90,0	90,6
2	5	74,0	78,3	81,0	82,0	84,5
3	9	63,6	68,9	72,0	75,0	78,4
4	13	55,3	61,1	64,1	68,0	72,0
5	17	48,8	54,6	57,8	62,0	66,6
6	21	43,9	49,1	52,2	55,9	61,3
7	25	39,6	44,0	46,8	51,0	56,1
8	29	36,2	39,9	42,3	46,5	50,9
9	33	33,5	36,6	38,9	41,9	46,3
10	37	31,5	34,4	36,0	38,0	41,7
11	41	29,6	32,1	33,6	35,2	37,4
12	45	28,8	30,3	31,8	32,0	32,9
13	49	27,6	28,8	29,8	28,3	29,1

ÉVALUATION

- Représenter les séries de mesures du tableau 1 sous forme graphique dans un diagramme $T(N)$ (Fig. 2).

Avec le temps, les points de mesure s'approchent d'une courbe linéaire qui signale que l'état stationnaire est atteint.

- Convertir en Kelvin les températures de la série de mesures pour $t = 400$ s du Tab. 1 selon

$$(5) \quad K = ^\circ C + 273,15 = \frac{(^{\circ}F + 459,67)}{1,8}$$

les représenter sous forme graphique en fonction de l'écart x et adapter une droite aux points de mesure (Fig. 3).

Pour la pente de la droite k , il en résulte :

$$(6) \quad k = -1,28 \frac{K}{cm}$$

La pente de la droite k correspond au gradient de température de l'équation (1) :

$$(7) \quad k = \frac{dT}{dx} = -\frac{P_Q}{\lambda \cdot A}$$

Dans un premier temps, en supposant de manière simplifiée que le courant thermique P_Q correspond à la puissance élec-

trique P_{el} , on détermine la conductivité thermique λ . À partir de (7), on obtient

$$(8) \quad \lambda = -\frac{P_Q}{k \cdot A} \approx -\frac{P_{el}}{k \cdot A} = -\frac{12 \text{ V} \cdot 1,6 \text{ A}}{-1,28 \frac{K}{cm} \cdot 490 \cdot mm^2} = 306 \frac{W}{m \cdot K}$$

La valeur déterminée par la mesure diverge d'env. 30 % de la valeur empirique $\lambda = 236 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

En réalité, le courant thermique P_Q correspond à la puissance électrique P_{el} , déduction faite d'une faible perte de puissance P_I :

$$(9) \quad P_Q = P_{el} - P_I$$

Par conséquent :

$$(10) \quad \lambda = -\frac{P_{el} - P_I}{k \cdot A} \Leftrightarrow P_I = P_{el} + k \cdot \lambda \cdot A$$

Pour les pertes en puissance, il en résulte avec la valeur empirique $\lambda = 236 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$:

$$(11) \quad P_I = 12 \text{ V} \cdot 1,6 \text{ A} - 1,28 \frac{K}{cm} \cdot 236 \frac{W}{m \cdot K} \cdot 490 \text{ mm}^2 = 4,4 \text{ W}$$

Note pour mesurer le courant thermique à l'état stationnaire :

Si l'on remplace l'eau glacée dans le béccher par de l'eau à température ambiante dans un récipient suffisamment isolé, on peut déterminer par la calorimétrie le courant thermique P_Q au moyen de la quantité de chaleur dQ cédée à l'eau pendant le temps dt :

$$(12) \quad P_Q = \frac{dQ}{dt} = \frac{d}{dt} \{c_{H_2O} \cdot m_{H_2O} \cdot dT\} = c_{H_2O} \cdot m_{H_2O} \cdot \frac{dT}{dt}$$

c_{H_2O} : capacité thermique spécifique de l'eau

m_{H_2O} : masse de l'eau

dT/dt : augmentation de la température de l'eau pendant le temps dt

L'augmentation de la température de l'eau dans une période déterminée peut être mesurée directement. Dans ce cas, compte tenu des pertes en puissance, la conductivité thermique λ résulte alors directement de l'équation (7) avec la pente de droite k (6).

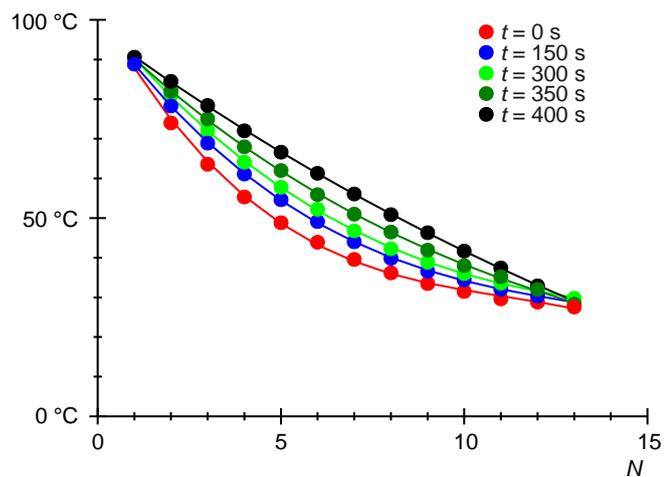


Fig. 2 : Températures le long de la barre en aluminium dans cinq séries de mesures effectuées dans un écart de 150 s.

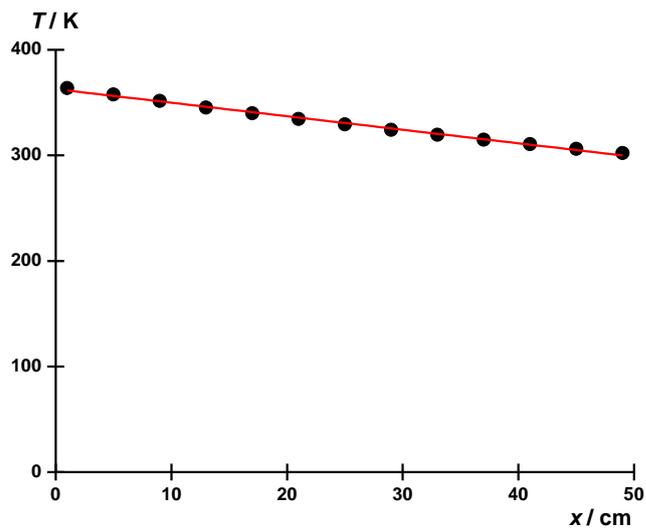


Fig. 3 : Température T en fonction de l'écart x des points de mesure à l'état stationnaire.