

## Dilatation thermique de corps solides

### DETERMINER LES COEFFICIENTS DE DILATATION DU LAITON, DE L'ACIER ET DU VERRE

- Mesurer la dilatation thermique d'un tube en laiton, d'un tube en acier et d'un tube en verre.
- Déterminer les coefficients de dilatation linéaires de ces matériaux et les comparer avec les valeurs théoriques.

UE2010130

03/16 UD



Fig. 1 : Agencement de mesure.

### NOTIONS DE BASE GENERALES

Dans un corps solide, chaque atome oscille autour de sa position d'équilibre. L'oscillation n'est pas harmonique, car l'énergie potentielle augmente plus fortement lorsque deux atomes en position d'équilibre s'approchent que s'ils s'éloignent l'un de l'autre. Lorsque la température, et par conséquent l'énergie d'oscillation, est plus élevée, les atomes oscillent de manière à ce que l'écart moyen entre

deux atomes voisins est plus important que l'écart d'équilibre. Cet effet augmente avec la température, aussi le corps solide se dilate-t-il toujours plus au fur et à mesure que la température augmente. Dans ce contexte, il est usuel de considérer des modifications de longueur relatives et d'en calculer les modifications de volume.

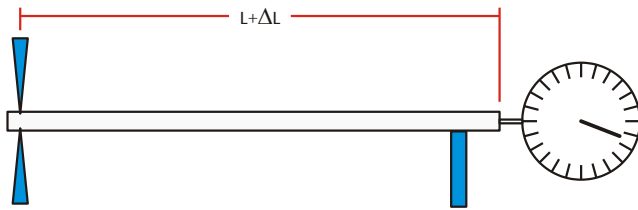


Fig. 2 : Représentation schématique de l'agencement de mesure

Le coefficient de dilatation linéaire est défini comme

$$(1) \quad \alpha = \frac{1}{L(\vartheta)} \cdot \frac{dL}{d\vartheta}$$

$L$  : longueur

$\vartheta$  : température en °C

Il dépend fortement du matériau et ne dépend généralement que peu de la température. Aussi

$$(2) \quad L(\vartheta) = L_0 \cdot \exp(\alpha \cdot \vartheta)$$

$$L_0 = L(0^\circ\text{C})$$

ou à des températures pas trop élevées

$$(3) \quad L(\vartheta) = L_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \vartheta)$$

Dans l'expérience, nous allons effectuer des mesures sur des tubes minces en acier, en laiton et en verre qui, pour être réchauffés, sont traversés par de l'eau chaude. Un thermostat de circulation garantit une température d'eau réglable constante. Comme les tubes sont fixés d'un côté à l'appareil d'extension longitudinale, un comparateur permet de lire à l'autre extrémité la modification de longueur en fonction de la température ambiante (température de référence) (Fig. 2).

## MONTAGE

Modification de l'appareil de dilatation thermique en affichage de comparateur

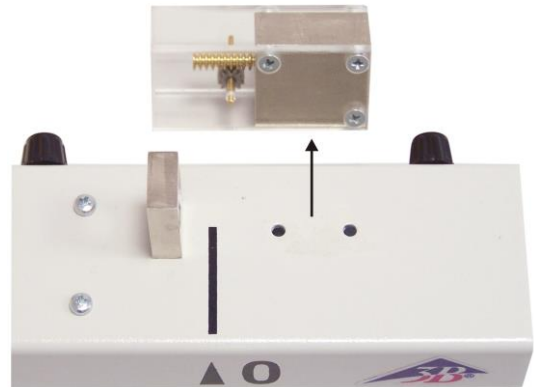


Fig. 3 : Sur l'appareil de dilatation thermique, dévisser le pignon pour l'aiguille.



Fig. 4 : Visser l'adaptateur pour le comparateur.



Fig. 5 : Introduire complètement le comparateur dans l'adaptateur et le fixer avec la vis à oreilles.

## LISTE DES APPAREILS

- 1 Appareil de dilataion thermique D 1002977 (U15400)
- 1 Bains thermostatiques et circulation @230V 1008654 (U144002-230)
- ou
- 1 Bains thermostatiques et circulation @115V 1008653 (U144002-115)
- 1 Comparateur avec adaptateur 1012862 (U8442250)
- 2 Tuyau flexible en silicone, 6 mm 1002622 (U10146)

## Montage des tubes



Fig. 6 : Fixer le palier fixe avec la vis moletée sur le repère 600 de l'appareil de dilatation thermique. Placer le tube en acier avec son extrémité ouverte dans le palier fixe.



Fig. 7 : Placer le tube avec son extrémité fermée dans le palier de guidage. Veiller à ce que la bride soit tournée vers l'arrière.

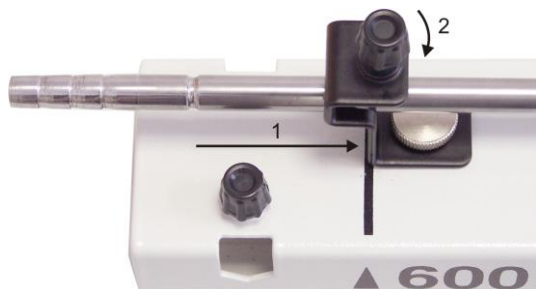


Fig. 8 : Glisser le tube vers la droite, jusqu'à ce que l'encoche s'applique contre l'extrémité ouverte dans le palier fixe (remarque : ainsi, la pointe de mesure du comparateur est précontrainte). Fixer le tube avec la vis de fixation dans le palier fixe.

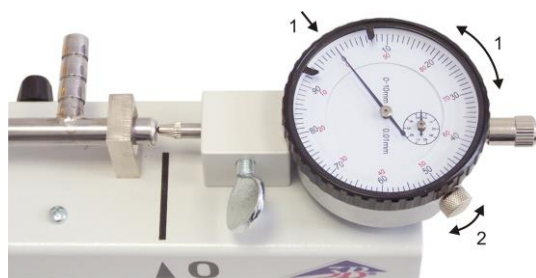


Fig. 9 : Tourner la bague graduée du comparateur, jusqu'à ce que le 0 de la graduation coïncide avec la position de l'aiguille. Fixer la bague graduée avec la vis de fixation.

#### Montage et branchement du thermostat à bain et à circulation

##### Consigne de sécurité :

Ne pas brancher le thermostat au secteur avant d'avoir monté correctement la tête de contrôle sur le recouvrement du bain.

- Suivre les instructions de montage pour le recouvrement du bain et monter le pont du bain sur le thermostat en introduisant le thermostat dans l'ouverture ronde du pont. Monter le kit de circulation par pompe, tuyau L compris, du côté du carter de la pompe avec la sortie de pompe, monter un cache sur le côté opposé.
- Accrocher le thermostat (avec le pont monté) dans le récipient du bain et fixer la tête de contrôle du thermostat avec le clip en tournant la vis moletée au bord du bain.



Fig. 10 : Aller (1) et retour (2) du kit de circulation par pompe.

- Diviser le tuyau en silicone en deux parties à peu près égales. Comme le montre la Fig. 1, relier l'aller du kit de circulation par pompe (Fig. 10) à l'extrémité ouverte du tube au moyen de la première moitié de tuyau et la bride du tube au retour de kit (Fig. 10) au moyen de la seconde moitié du tuyau.

## REALISATION

##### Consigne de sécurité :

Avant d'utiliser le thermostat à bain et à circulation, il est indispensable de lire attentivement toutes les instructions et consignes de sécurité dans le mode d'emploi du thermostat.

- Remplir le bain d'eau détartree, jusqu'à ce que le radiateur soit complètement recouvert. Mettre le couvercle du bain sur le pont du bain.
- Brancher le thermostat dans une prise de courant avec terre. Veiller à ce que les indications sur la plaque signalétique coïncident avec la tension secteur.
- Allumer le thermostat en actionnant l'interrupteur sur la face avant.

La température de bain actuelle s'affiche, qui correspond à la température ambiante.

- Noter la température de bain actuelle comme température de référence dans le Tab. 1.
- Régler les températures de consigne en pas de 4° environ, attendre à chaque fois que la température effective ait atteint la consigne, puis noter la valeur dans le Tab. 1. Calculer à chaque fois la différence avec la température de référence et la noter également dans le Tab. 1.
- Pour chaque température ou différence de température, lire directement sur la graduation du comparateur la modification de longueur par rapport à la position 0 et la noter dans le Tab. 1.
- Monter le tube en laiton, puis en verre et répéter la mesure. Le cas échéant, adapter les pas de température. Inscrire les valeurs de mesure dans les Tab. 2 et 3.

## EXEMPLE DE MESURE

Tab. 1: Dilatation thermique de l'acier,  $\vartheta$  : température réglée,  $\Delta\vartheta$  : différence de température,  $\Delta L$  : modification de longueur.

| $\vartheta$ / °C | $\Delta\vartheta$ / °C | $\Delta L$ / mm |
|------------------|------------------------|-----------------|
| 21,70            | 0,00                   | 0,00            |
| 25,00            | 3,30                   | 0,02            |
| 29,00            | 7,30                   | 0,05            |
| 33,20            | 11,50                  | 0,07            |
| 37,30            | 15,60                  | 0,11            |
| 41,30            | 19,60                  | 0,13            |
| 44,90            | 23,20                  | 0,16            |
| 48,40            | 26,70                  | 0,19            |
| 52,30            | 30,60                  | 0,22            |
| 56,10            | 34,40                  | 0,24            |
| 60,10            | 38,40                  | 0,27            |
| 64,10            | 42,40                  | 0,29            |
| 68,00            | 46,30                  | 0,32            |
| 72,00            | 50,30                  | 0,35            |
| 76,10            | 54,40                  | 0,38            |
| 80,10            | 58,40                  | 0,41            |
| 84,30            | 62,60                  | 0,44            |
| 87,40            | 65,70                  | 0,46            |
| 91,80            | 70,10                  | 0,49            |
| 95,80            | 74,10                  | 0,52            |
| 98,80            | 77,10                  | 0,54            |

Tab. 2: Dilatation thermique du laiton,  $\vartheta$  : température réglée,  $\Delta\vartheta$  : différence de température,  $\Delta L$  : modification de longueur.

| $\vartheta$ / °C | $\Delta\vartheta$ / °C | $\Delta L$ / mm |
|------------------|------------------------|-----------------|
| 25,3             | 0,0                    | 0,00            |
| 32,9             | 7,6                    | 0,07            |
| 36,2             | 10,9                   | 0,11            |
| 40,9             | 15,6                   | 0,17            |
| 45,1             | 19,8                   | 0,22            |
| 48,8             | 23,5                   | 0,26            |
| 52,6             | 27,3                   | 0,31            |
| 56,6             | 31,3                   | 0,35            |
| 60,6             | 35,3                   | 0,40            |
| 64,4             | 39,1                   | 0,45            |
| 68,3             | 43,0                   | 0,49            |
| 72,7             | 47,4                   | 0,53            |
| 76,1             | 50,8                   | 0,58            |
| 80,3             | 55,0                   | 0,63            |
| 84,1             | 58,8                   | 0,67            |
| 88,4             | 63,1                   | 0,71            |
| 91,9             | 66,6                   | 0,76            |
| 96,2             | 70,9                   | 0,81            |
| 99,5             | 74,2                   | 0,84            |

Tab. 3: Dilatation thermique du verre,  $\vartheta$  : température réglée,  $\Delta\vartheta$  : différence de température,  $\Delta L$  : modification de longueur.

| $\vartheta$ / °C | $\Delta\vartheta$ / °C | $\Delta L$ / mm |
|------------------|------------------------|-----------------|
| 23,8             | 0,0                    | 0,00            |
| 26,8             | 3,0                    | 0,01            |
| 33,2             | 9,4                    | 0,02            |
| 39,2             | 15,4                   | 0,03            |
| 44,9             | 21,1                   | 0,04            |
| 50,8             | 27,0                   | 0,05            |
| 56,4             | 32,6                   | 0,06            |
| 62,7             | 38,9                   | 0,07            |
| 68,1             | 44,3                   | 0,08            |
| 74,8             | 51,0                   | 0,09            |
| 80,4             | 56,6                   | 0,10            |
| 86,3             | 62,5                   | 0,11            |
| 92,2             | 68,4                   | 0,12            |
| 97,9             | 74,1                   | 0,13            |

### EVALUATION

Dans la plage de température étudiée,  $\alpha \cdot \Delta\vartheta \ll 1$ . L'équation (3) peut donc être modifiée

$$(4) \quad \Delta L = L(\vartheta_1) \cdot \alpha \cdot \Delta\vartheta \quad \text{avec}$$

$$\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1, \quad L(\vartheta_1) = 600 \text{ mm}$$

Les coefficients de dilatation linéaires recherchés peuvent être déterminés dans la Fig. 11 à partir de la pente des droites passant par l'origine.

$$(5) \quad \alpha = \frac{a}{L(\vartheta_1)}$$

- Représenter les modifications de longueur mesurées du laiton, de l'acier et du verre (Tab. 1, 2 et 3) par rapport aux différences de température et adapter à chaque fois une droite.
- Déterminer les coefficients de dilatation linéaires selon l'équation (5) à partir des pentes des droites et les inscrire dans le Tab. 4. Note : comme nous observons des modifications de température, l'indication de température en °C équivaut à celle en °K.

Tab. 4: Coefficients de dilatation linéaires déterminés par la mesure pour le laiton, l'acier et le verre ainsi que valeurs théoriques.

| Matériau | $a / \text{mm} \cdot \text{K}^{-1}$ | $\alpha / 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$<br>Mesure | $\alpha / 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$<br>Valeurs théoriques |
|----------|-------------------------------------|--|--|
| Laiton   | 0,0114                              | 19,0   | 18,5   |
| Acier    | 0,0070                              | 11,7   | 11,5   |
| Verre    | 0,0018                              | 3,0  | 3,3  |

Les coefficients de dilatation linéaires déterminés par la mesure pour le laiton, l'acier et le verre correspondent bien aux valeurs théoriques.

Par ailleurs, la dérivation de l'équation (3) est devenue superflue, même si l'on considère des températures élevées. Dans ce cas,  $\alpha$  s'avère ne pas être constant, mais dépendant de la température. Considéré de plus près, c'est justement le cas dans la plage de température étudiée. Comme les modifications de longueur sont mesurées avec une résolution de 0,01 mm, une analyse détaillée des données montre, notamment pour le laiton, que les valeurs de mesure ne sont pas tout à fait linéaires et que le coefficient de dilatation augmente légèrement au fur et à mesure que la température augmente.

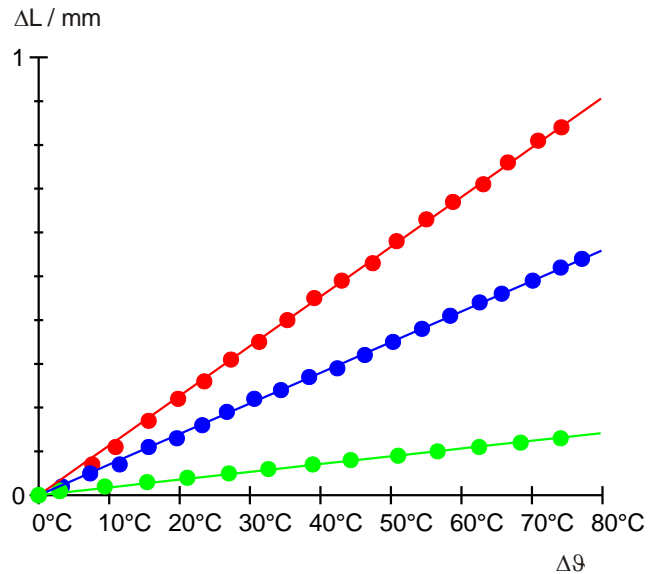


Fig. 11 : Modification de longueur du laiton (rouge), de l'acier (bleu) et du verre (vert) en fonction de la différence de température

### NOTE

S'il suffit d'étudier la différence de longueur entre la température ambiante et la température de la vapeur d'eau, on peut remplacer le thermostat d'immersion / de circulation par un générateur de vapeur. Nous proposons la liste d'accessoires correspondante sous le numéro UE2010135 (cf. Fig. 12).



Fig. 12 : Montage avec un générateur de vapeur

