

Détermination du coefficient de dilatation cubique des liquides

Objectifs expérimentaux

- Détermination du volume V_0 du dilatomètre volumétrique.
- Mesure de la dilatation cubique de l'eau et de l'éthanol en fonction de la température et détermination du coefficient de dilatation cubique γ .
- Comparaison des coefficients de dilatation cubique de l'eau et de l'éthanol.

Notions de base

Pour un changement de température $\Delta\vartheta$, un liquide de volume V_0 subit – comme un solide – le changement de volume

$$\Delta V_0 = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta\vartheta \quad (I)$$

Le coefficient de dilatation cubique γ est largement indépendant de la température ϑ mais dépendant du matériau. En général, les liquides se dilatent plus que les solides.

Le dilatomètre volumétrique convient bien pour la détermination du coefficient de dilatation cubique des liquides. Il est constitué d'un flacon en verre sur l'ouverture duquel est placé un capillaire de rayon r connu, en guise de tube d'ascension. La hauteur d'ascension h du liquide mesuré dans le tube d'ascension est relevée sur une échelle graduée en mm. Elle

augmente si le flacon en verre est chauffé uniformément dans un bain-marie et que le volume du liquide mesuré augmente. Le changement de la hauteur d'ascension Δh correspond à une dilatation

$$\Delta V = \pi \cdot r^2 \cdot \Delta h \quad (II)$$

avec $r = (1,5 \pm 0,08) \text{ mm}$

Du reste, il faut tenir compte du fait que le dilatomètre volumétrique se dilate lui aussi sous l'effet de la température. Cette dilatation s'oppose au changement du niveau du liquide. Le changement de volume du liquide mesuré par dilatation thermique vaut donc

$$\Delta V_0 = \Delta V + \Delta V_D \quad (III)$$

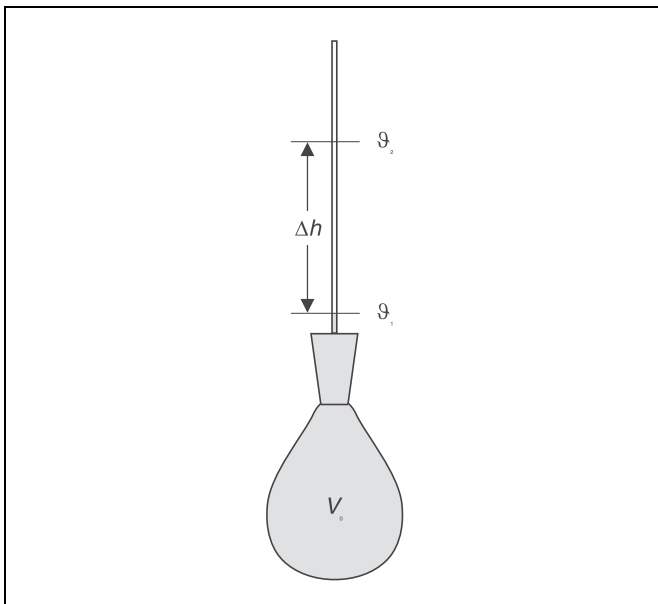
On a ici pour le changement de volume ΔV_D du dilatomètre volumétrique

$$\text{avec } \gamma_D = 0,84 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1} \quad (IV)$$

D'après les équations (I), (III) et (IV), on a pour le coefficient de dilatation cubique du liquide étudié

$$\gamma = \frac{1}{V_0} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta\vartheta} + \gamma_D \quad (V)$$

Détermination du coefficient de dilatation cubique des liquides



Matériel

1 dilatomètre volumétrique	382 15
1 thermomètre, -10° à 110° C	382 34
ou	
1 sonde de température NiCr-Ni	666 193
1 thermomètre numérique, 1 entrée	666 190
1 balance d'enseignement et de laboratoire 311	315 05
1 plaque chauffante, 150 mm \varnothing , 1500 W	666 767
1 bécher, 400 ml, forme basse, verre trempé	664 104
1 pied en V, petit modèle	300 02
1 tige, 47 cm	300 42
2 noix Leybold	301 01
2 pinces universelles, 0 ... 80 mm \varnothing	666 555
1 éthanol, dénaturé, 1 l	671 972

Supplément nécessaire:

Eau distillée ou déminéralisée

Montage et réalisation

N.B.:

La mesure de la hauteur d'ascension h peut être nettement faussée suite à des forces capillaires plus ou moins importantes.

Faire en sorte que le capillaire soit propre et si besoin est, le nettoyer avec des solutions de nettoyage appropriées, le rincer ensuite à l'eau distillée.

a) Etalonnage du dilatomètre volumétrique:

- Déterminer la masse m_1 du dilatomètre volumétrique vide, sec.
- Verser de l'eau pure jusqu'au tiers inférieur de l'ouverture rodée.
- Pour éviter les bulles d'air, mettre le dilatomètre volumétrique sans tube d'ascension dans le bain-marie et le chauffer presque jusqu'au point d'ébullition.
- Laisser refroidir le bain-marie jusqu'à la température ambiante, noter la température ϑ et éventuellement compenser le niveau de liquide.
- Mettre le tube d'ascension en place, presser un doigt sur l'ouverture, retirer le tube d'ascension et le vider.
- Remettre le tube d'ascension, sécher le dilatomètre volumétrique puis déterminer la masse m_2 du dilatomètre volumétrique rempli d'eau.

b) Mesure de la dilatation cubique de l'eau et de l'éthanol:

N.B.:

Une fois la plaque chauffante arrêtée, le liquide étudié est encore chauffé de quelques degrés si bien que le dilatomètre volumétrique risque de déborder.

Arrêter la plaque chauffante à temps, notamment lorsque le dilatomètre est rempli d'éthanol.

Le montage expérimental est représenté sur la fig. 1.

- Immerger le dilatomètre volumétrique dans le bain chauffant jusqu'au niveau du tube d'ascension.
- Mettre la plaque chauffante en route en la réglant sur minimum et l'arrêter lorsque la plus grande hauteur d'ascension relevable dans le dilatomètre volumétrique est presque atteinte.
- Attendre le plus haut niveau du liquide dans le tube d'ascension puis laisser refroidir le bain-marie d'env. 1 à 2 K.
- Continuer de laisser refroidir le bain-marie et déterminer la hauteur d'ascension h de l'eau dans le tube d'ascension en fonction de la température (voir tab. 2).
- Pour finir, verser de l'éthanol comme liquide étudié dans le dilatomètre volumétrique après avoir bien séché ce dernier, le chauffer au bain-marie et mesurer à nouveau la hauteur d'ascension en fonction de la température (voir tab. 3).

Il reste donc encore à déterminer le volume V_0 du dilatomètre volumétrique. Pour ce faire, on détermine les masses m_1 du dilatomètre volumétrique vide, sec et m_2 du dilatomètre volumétrique rempli d'eau pure jusqu'à la base du tube d'ascension. Comme on connaît la valeur exacte de la densité ρ de l'eau pour une température ϑ connue (voir tab. 1), on obtient le volume d'après

$$V_0 = \frac{m_2 - m_1}{\rho} \quad (\text{VI}).$$

Tab. 1: Valeurs littéraires pour la densité ρ de l'eau pure en fonction de la température ϑ :

ϑ	$\frac{\rho}{\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}}$	ϑ	$\frac{\rho}{\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}}$
15 °C	0,999099	23 °C	0,997540
16 °C	0,998943	24 °C	0,997299
17 °C	0,998775	25 °C	0,997047
18 °C	0,998596	26 °C	0,996785
19 °C	0,998406	27 °C	0,996515
20 °C	0,998205	28 °C	0,996235
21 °C	0,997994	29 °C	0,995946
22 °C	0,997772	30 °C	0,995649

Exemple de mesure**a) Etalonnage du dilatomètre volumétrique:**

$$m_1 = 31,29 \text{ g}$$

$$m_2 = 88,01 \text{ g}$$

$$\vartheta = 22^{\circ}\text{C}$$

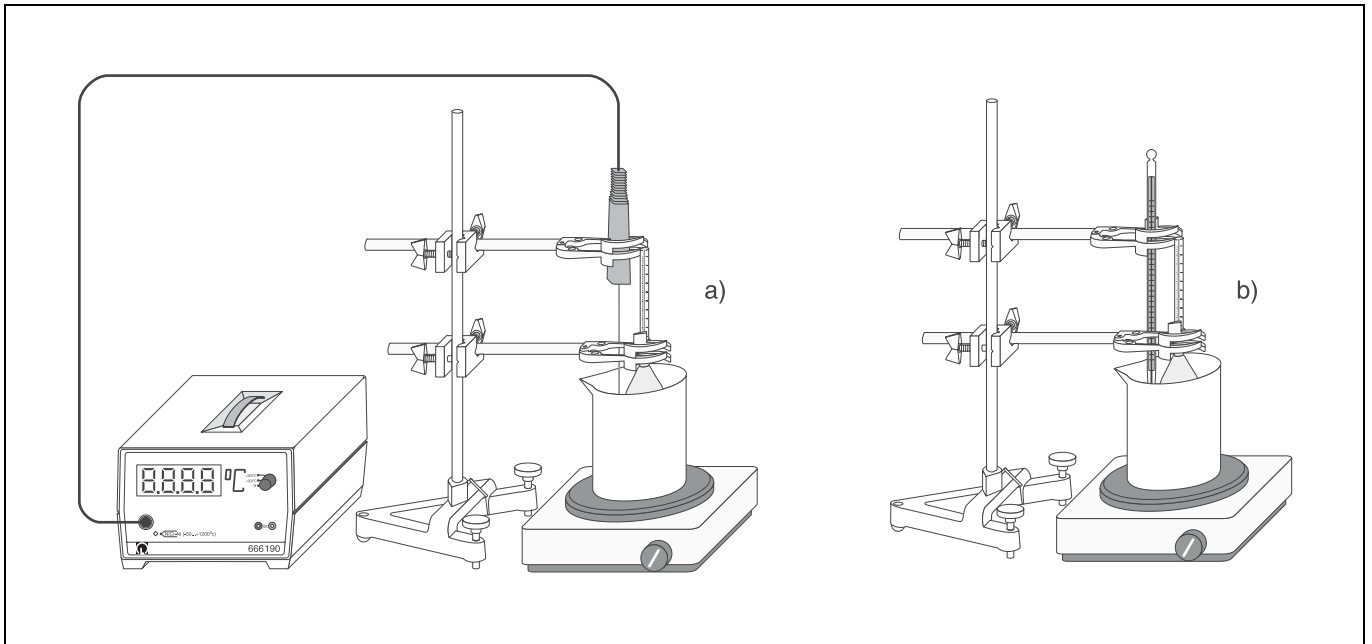


Fig. 1 Montage expérimental pour la détermination du coefficient de dilatation cubique des liquides.
 a) Utilisation de la sonde de température b) Utilisation du thermomètre

b) Mesure de la dilatation cubique de l'eau et de l'éthanol:

Tab. 2: Hauteur d'ascension h de l'eau pure en fonction de la température ϑ .

ϑ	$\frac{h}{\text{cm}}$	ϑ	$\frac{h}{\text{cm}}$
60 °C	9,5	45 °C	4,25
59 °C	9,3	44 °C	3,9
58 °C	8,9	43 °C	3,55
57 °C	8,6	42 °C	3,2
56 °C	8,2	41 °C	2,9
55 °C	7,85	40 °C	2,6
54 °C	7,5	39 °C	2,3
53 °C	7,1	38 °C	2,0
52 °C	6,75	37 °C	1,7
51 °C	6,4	36 °C	1,4
50 °C	6,0	35 °C	1,1
49 °C	5,7	34 °C	0,8
48 °C	5,3	33 °C	0,55
47 °C	4,95	32 °C	0,3
46 °C	4,6		

Tab. 3: Hauteur d'ascension h de l'éthanol en fonction de la température ϑ .

ϑ	$\frac{h}{\text{cm}}$	ϑ	$\frac{h}{\text{cm}}$
38 °C	9,9	32 °C	4,6
37 °C	9,1	31 °C	3,7
36 °C	8,25	30 °C	2,7
35 °C	7,4	29 °C	1,8
34 °C	6,5	28 °C	0,9
33 °C	5,55		

Exploitation et résultat

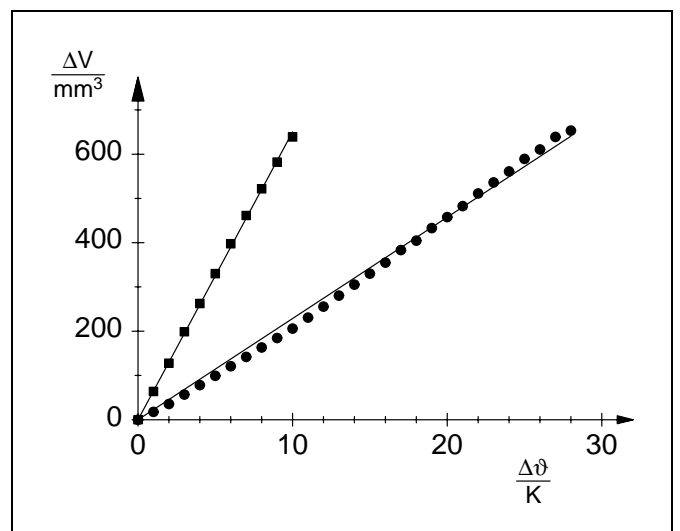
a) Etalonnage du dilatomètre volumétrique:

Différence de masse: $m_2 - m_1 = 56,72 \text{ g}$
 Densité ρ pour $\vartheta = 22 \text{ °C}$: $\rho = 0,9978 \text{ g cm}^{-3}$ (cf. tab. 1)
 On obtient avec (VI): $V_0 = 56,85 \text{ cm}^3$

b) Mesure de la dilatation cubique de l'eau et de l'éthanol:

La fig. 2 illustre graphiquement le changement de volume ΔV calculé selon (II) à partir du changement de la hauteur d'ascension $\Delta h = h - h_0$ en fonction de la différence de température $\Delta\vartheta = \vartheta - \vartheta_0$ ($\vartheta_0 = 32 \text{ °C}$ pour l'eau et 28 °C pour l'éthanol, cf. tab. 2 et 3).

Fig. 2 Dilatation cubique thermique ΔV de l'eau (cercles) et de l'éthanol (carrés) en fonction de la différence de température $\Delta\vartheta$.



La pente des droites tracées passant par l'origine vaut pour l'eau

$$\frac{\Delta V}{\Delta \vartheta} = 22,9 \frac{\text{mm}^3}{\text{K}}$$

et pour l'éthanol

$$\frac{\Delta V}{\Delta \vartheta} = 65,0 \frac{\text{mm}^3}{\text{K}}.$$

Avec (V), on obtient pour le coefficient de dilatation cubique:

$$\gamma = 4,9 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1} \text{ (eau)}, \gamma = 12,3 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1} \text{ (éthanol)}$$

Avec l'eau, on remarque un écart systématique entre les points de mesure et la droite tracée passant par l'origine. La dilatation cubique de l'eau n'est pas constante, elle augmente avec la température dans la gamme de température étudiée allant de 30 °C à 60 °C.

Le coefficient de dilatation cubique de l'éthanol est nettement plus grand que celui de l'eau. Etant donné qu'il change à peine même sur des gammes de température assez importantes, l'éthanol convient aussi comme liquide pour thermomètre.

Remarque supplémentaire:

L'anomalie thermique de l'eau, soit la baisse de la dilatation cubique dans la gamme de température comprise entre 0 °C et 4 °C, est étudiée dans l'expérience P2.1.3.1.