

Etude de la masse volumique maximale de l'eau

Objectifs expérimentaux

- Mesure de la dilatation thermique de l'eau dans la gamme de température allant de 0 °C à 15 °C.
- Mise en évidence de l'anomalie thermique et détermination de la masse volumique maximale.

Notions de base

Un phénomène important du point de vue des conséquences est celui de l'anomalie de l'eau lorsqu'on élève la température de cette dernière à partir de 0 °C: jusque vers 4 °C, l'eau a un coefficient de dilatation négatif, c.-à-d. que son volume diminue sous l'action de la chaleur. Au-delà de 4 °C, le coefficient de dilatation prend des valeurs positives. Comme la masse volumique correspond à l'inverse du volume d'une quantité de matière, l'eau a donc sa masse volumique maximale à 4 °C.

Au cours de l'expérience, on met en évidence la masse volumique maximale de l'eau en mesurant la dilatation dans un récipient avec tube d'ascension. On refroidit tout le dispositif

dans un bain d'eau glacée sous agitation permanente en partant de la température ambiante pour l'amener à environ 1 °C ou bien on le porte à température ambiante après l'avoir refroidi dans un réfrigérateur. On mesure la hauteur d'ascension h en fonction de la température de l'eau ϑ et on utilise cette valeur pour calculer le volume total de l'eau dans le récipient et dans le tube d'ascension:

$d = 1,7$ mm: diamètre intérieur du tube d'ascension
 $V_0 = 310$ cm³: volume de l'eau dans le récipient

On a donc pour la masse volumique de l'eau

$$V(\vartheta) = V_0 + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(\vartheta) \quad (I)$$

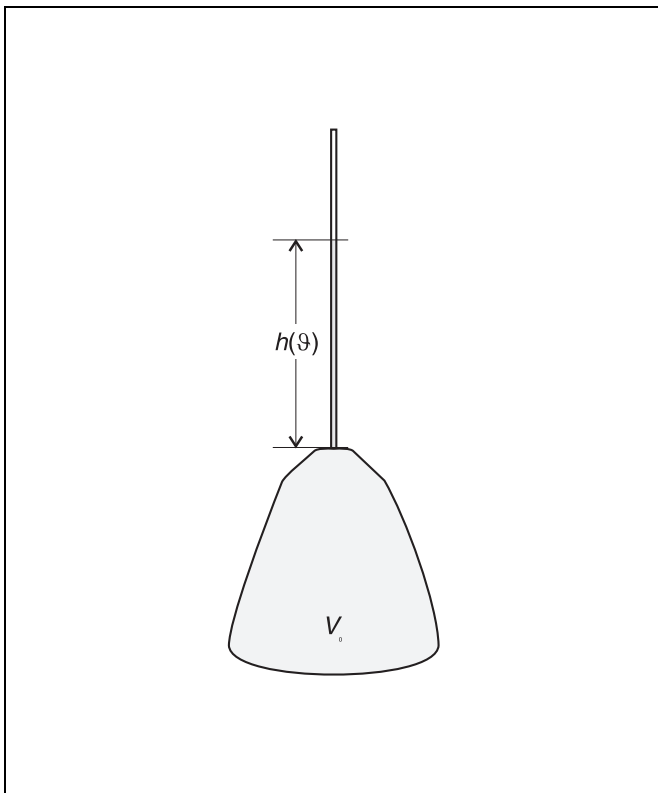
$$\frac{\rho(\vartheta)}{\rho(0^\circ\text{C})} = \frac{V_0 + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(0^\circ\text{C})}{V_0 + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(\vartheta)} \quad (II),$$

si on néglige le fait que le récipient en verre (Duran) se dilate également sous l'effet de la chaleur. Si on tient compte de cette dilatation, l'équation (II) devient

$$\frac{\rho(\vartheta)}{\rho(0^\circ\text{C})} = \frac{V_0 + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(0^\circ\text{C})}{V_0 \cdot (1 + 3 \cdot \alpha \cdot \vartheta) + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(\vartheta)} \quad (III).$$

$\alpha = 3,25 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$: coefficient de dilatation linéaire du verre Duran

La dilatation thermique du tube d'ascension n'est, quant à elle, toujours pas prise en compte.



Détermination de la dilatation thermique de l'eau dans un récipient avec un tube d'ascension d'après le changement de niveau dans le tube d'ascension.

Matériel

1 appareil pour la démonstration de l'anomalie de l'eau	667 505
1 agitateur magnétique non chauffant	666 845
1 thermomètre, -10 °C à +40 °C	382 36
ou	
1 thermomètre numérique	666 190
1 sonde de température NiCr-Ni	666 193
1 cuve en verre 300 × 200 × 150 mm ³	664 195
1 entonnoir	665 008
1 tuyau en caoutchouc, Ø int. 8 mm	307 66
1 noix avec anneau	301 10
1 pince universelle, 0 ... 80 Ø	666 555
1 noix Leybold	301 01
1 tige, 47 cm	300 42
1 pied en V, petit modèle	300 02

Supplément nécessaire:

Eau distillée

Réfrigérateur

ou

500 g de glace pilée, 50 g de sel de cuisine

Montage**D'abord:**

- Placer le barreau aimanté dans le tube fileté **(a)** de l'appareil pour la démonstration de l'anomalie de l'eau.
- Enfiler le thermomètre dans le bouchon fileté avec trou de 8 mm

ou

- enfiler la sonde de température NiCr-Ni dans le bouchon fileté avec trou de 1,5 mm.
- Bien visser le bouchon fileté sur le tube fileté.

Remplissage avec de l'eau distillée:

- Relier l'entonnoir au tuyau de remplissage **(b)**.
- Verser de l'eau distillée dans l'entonnoir, ouvrir le robinet en verre et rajouter continuellement de l'eau de manière à ce que l'entonnoir soit constamment plein pendant le processus de remplissage.
- Enlever les bulles d'air en balançant l'appareil.

Lorsque l'eau atteint le bord supérieur du tube d'ascension:

- Fermer le robinet en verre.
- Evacuer le reste d'eau dans l'entonnoir et dans le tuyau en caoutchouc puis retirer le tuyau en caoutchouc.

Variante 1: refroidissement de l'eau pour la mesure avec une température en hausse:

- Régler le thermostat du réfrigérateur de manière à avoir une température d'env. 0,5 à 1 °C dans le compartiment à bouteilles (il faut procéder à des essais pour s'assurer de la température, l'eau ne doit pas geler).
- Remplir l'appareil pour la démonstration de l'anomalie de l'eau avec de l'eau distillée et le laisser toute la nuit dans le réfrigérateur pour faire refroidir l'eau.

Variante 2: préparation d'un mélange de glace pour la mesure avec une température en baisse:

- Préparer un mélange de glace constitué de 450 g de glace pilée et de 40 g de sel de cuisine dans la cuve en verre et bien mélanger le tout.

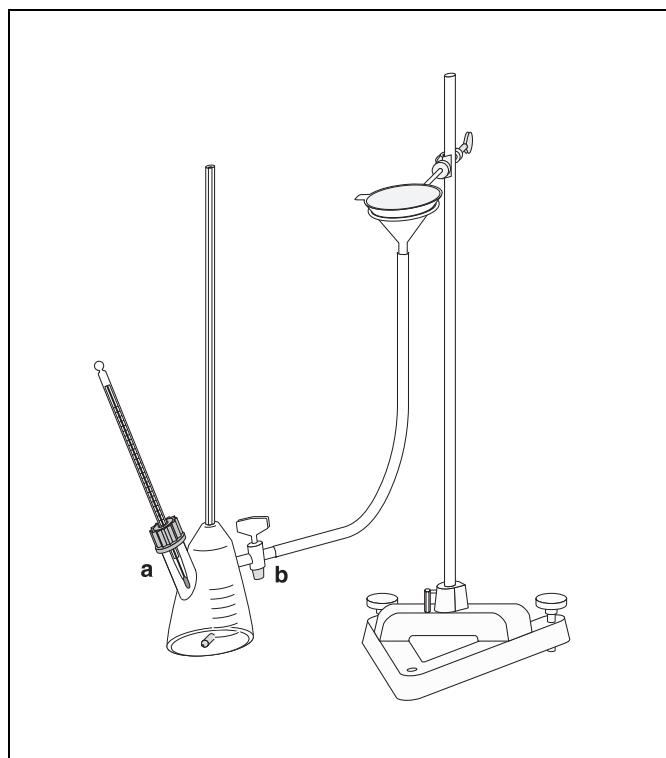


Fig. 1 Remplissage avec de l'eau distillée
Ici à titre d'exemple:
mesure de la température avec un thermomètre

Réalisation

Variante 1: mesure pour une température en hausse:

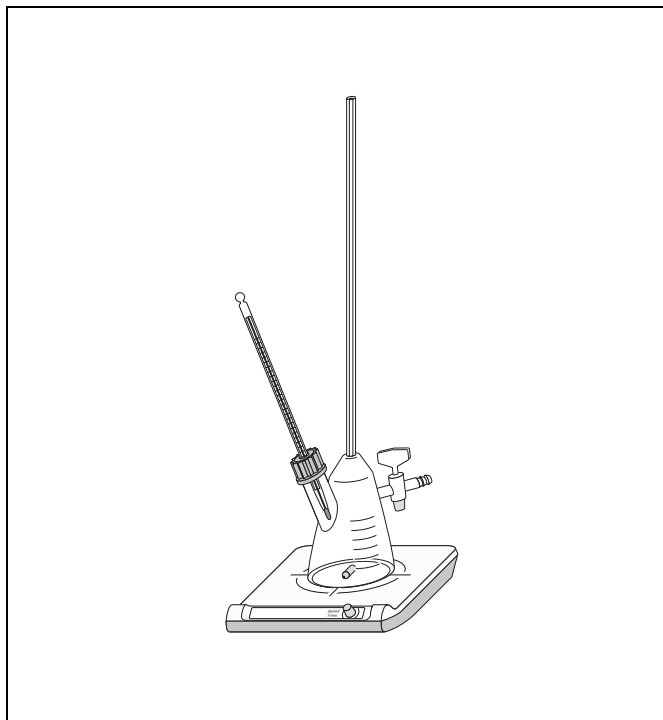


Fig. 2 Montage expérimental pour la mesure de la dilatation thermique de l'eau pour une température en hausse
Ici à titre d'exemple:
mesure de la température avec le thermomètre

- Retirer du réfrigérateur l'appareil pour la démonstration de l'anomalie de l'eau et le placer sur l'agitateur magnétique.
- Immédiatement enclencher l'agitateur magnétique et régler une vitesse de rotation moyenne.
- Eventuellement mettre le thermomètre en service et brancher la sonde de température NiCr-Ni.
- Relever puis noter le niveau d'eau h dans le tube d'ascension en fonction de la température ϑ .

Variante 2: mesure pour une température en baisse:

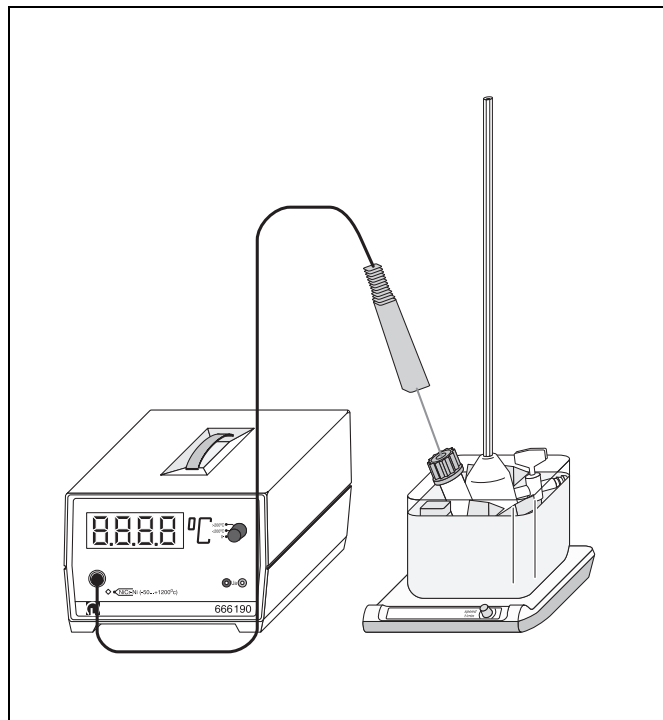


Fig. 3 Montage expérimental pour la mesure de la dilatation thermique de l'eau pour une température en baisse
Ici à titre d'exemple:
mesure de la température avec la sonde de température NiCr-Ni

- Placer l'appareil pour la démonstration de l'anomalie de l'eau dans la cuve en verre avec le mélange de glace et immédiatement placer la cuve en verre sur l'agitateur magnétique.
- Immédiatement enclencher l'agitateur magnétique et régler une vitesse de rotation moyenne.
- Eventuellement mettre le thermomètre en service et brancher la sonde de température NiCr-Ni.
- Relever puis noter le niveau d'eau h dans le tube d'ascension en fonction de la température ϑ .

Dès que la température diminue en dessous de $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$:

- Retirer l'appareil pour la démonstration de l'anomalie de l'eau du mélange de glace (l'eau ne doit pas geler).

Exemple de mesure

Tab. 1: Hauteur d'ascension h de l'eau en fonction de la température ϑ , relevée pour une température en hausse

ϑ	$\frac{h}{\text{mm}}$	ϑ	$\frac{h}{\text{mm}}$	ϑ	$\frac{h}{\text{mm}}$
0,6 °C	24,6	4,0 °C	23,1	7,4 °C	24,6
0,8 °C	24,5	4,2 °C	23,2	7,6 °C	24,7
1,0 °C	24,4	4,4 °C	23,2	7,8 °C	24,8
1,2 °C	24,2	4,6 °C	23,2	8,0 °C	25,0
1,4 °C	24,0	4,8 °C	23,3	8,5 °C	25,6
1,6 °C	23,9	5,0 °C	23,4	9,0 °C	26,0
1,8 °C	23,8	5,2 °C	23,4	9,5 °C	26,6
2,0 °C	23,7	5,4 °C	23,5	10,0 °C	27,0
2,2 °C	23,6	5,6 °C	23,5	10,5 °C	28,2
2,4 °C	23,5	5,8 °C	23,6	11,0 °C	28,9
2,6 °C	23,4	6,0 °C	23,8	11,5 °C	29,8
2,8 °C	23,3	6,2 °C	23,8	12,0 °C	30,6
3,0 °C	23,2	6,4 °C	23,9	12,5 °C	31,5
3,2 °C	23,2	6,6 °C	24,0	13,0 °C	32,7
3,4 °C	23,1	6,8 °C	24,1	13,5 °C	33,2
3,6 °C	23,1	7,0 °C	24,3	14,0 °C	34,7
3,8 °C	23,1	7,2 °C	24,5		

Exploitation

Les valeurs mesurées du tab. 1 sont représentées graphiquement sur la fig. 4. Pour la hauteur d'ascension h à 0 °C, on relève la valeur extrapolée 25,07 cm. Cela permet de calculer la masse volumique relative conformément à l'équation (III).

La fig. 5 donne une représentation graphique en fonction de la température. Le maximum des valeurs est pour $\vartheta = 3,6$ °C et vaut 1,00013.

Référence littéraire:

Masse volumique maximale de l'eau:

$$\rho(3,89 \text{ °C}) = 0,999973 \text{ g cm}^{-3}$$

$$\frac{\rho(3,89 \text{ °C})}{\rho(0 \text{ °C})} = 1,000105$$

Résultat

Le volume de l'eau diminue pour une élévation de la température entre 0 °C et environ 4 °C et augmente seulement pour des températures plus élevées.

La masse volumique de l'eau a sa valeur maximale à environ 4 °C.

Fig. 4 Hauteur d'ascension h caractéristique de la dilatation thermique de l'eau en fonction de la température

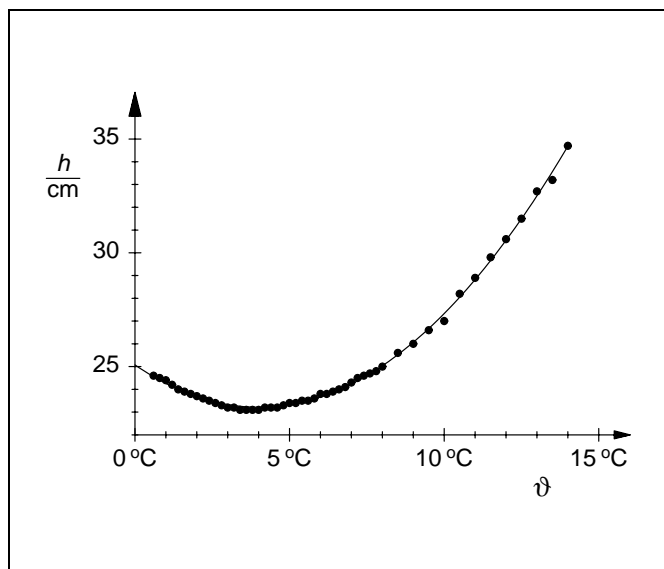


Fig. 5 Masse volumique relative de l'eau en fonction de la température
○: calculée selon (II), ●: calculée selon (III)

