

Objectifs	Mesurer le coefficient de dilatation thermique isobare de l'eau		
Thèmes	Coefficient de dilatation thermique isobare de l'eau – Identités thermodynamiques		
Matériel sur la paillasse prof.	Bidons d'eau au à 0°C		
Matériel sur les paillasses élèves	Ballon bicol, chauffe-ballon Deux bouchons troués	Tube fin et long (~ 40 cm) adapté au trou d'un bouchon	Thermomètre numérique adapté au trou d'un bouchon
Sécurité & Déchets	Présence de matériel chauffant <b>Danger : manipulation d'un tube de verre fin et cassant</b>		

L'objectif du TP est de mesurer le **coefficient de dilatation isobare de l'eau liquide** (défini plus bas). Pour cela, après une brève étude théorique, on réalisera des mesures de volume sur de l'eau chauffée à différentes températures.

## I - PARTIE THÉORIQUE

### I.1 - Définition du coefficient de dilatation thermique isobare

Dans le modèle des phases condensées indilatables et incompressibles, on considère que les variations de température et de pression n'ont aucun effet sur le volume. Cette approximation permet de nombreuses simplifications, telles que  $dH \simeq dU \simeq m c dT$ .

En réalité, on sait que les phases condensées sont sensibles à la température, même lors de variations d'amplitude modérée.



1. Dans quels phénomènes ou situations la dilatation thermique d'un matériau solide ou liquide ne peut pas être négligée ?

Dans les cas où la dilatation thermique ne peut être négligée, on la décrit via le coefficient de dilatation thermique  $\beta_T$  (d'un composé gazeux, liquide ou solide). Ce coefficient thermoélastique s'écrit :

$$\beta_T = \frac{1}{V} \cdot \left. \frac{\partial V}{\partial T} \right|_P$$

### I.2 - Équation d'état concernant la dilatation de l'eau

Pour l'eau, ce coefficient n'est pas constant, mais on peut l'approximer partiellement linéaire (dans une plage de température restreinte) :

$$\beta_T(T) = \frac{1}{V} \cdot \left. \frac{\partial V}{\partial T} \right|_P \simeq a (T - T_0) \quad \text{à } P \text{ fixé}$$

La paramètre  $a$  est inconnu ; c'est lui que nous essaierons de mesurer. Le paramètre  $T_0 = 4^\circ\text{C}$  est la température à laquelle le coefficient  $\beta_T$  est nul<sup>a</sup>. À cette température, le volume d'un kilogramme d'eau est exactement égal à 1 L (et la masse volumique est maximale, égale à  $1000 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ).

On prend pour système un volume d'eau, initialement de volume  $V_i$ , à la température  $T_i$ .

2. Compte tenu de l'expression de  $\beta_T(T)$  pour l'eau, déterminer l'expression de  $V(T)$  (on rappelle qu'on travaille à pression fixée  $P_0$ ). On pourra intégrer entre l'état initial ( $V_i, T_i$ ) et un état quelconque ( $V, T$ ).
3. Dans le montage qu'on va réaliser, la température de l'eau va varier de quelques dizaines de degrés. Sachant que le coefficient d'expansion thermique  $\beta_T$  est de l'ordre de  $10^{-4} \text{ K}^{-1}$ , à quelle variation de volume peut-on s'attendre ? Pourrait-on observer la dilatation de l'eau dans un simple verre ? Quelle forme de récipient permettrait de voir cette variation de volume ?

<sup>a</sup> On sait qu'à pression  $P_0 = 1 \text{ bar}$ , coefficient de dilatation thermique de l'eau est nul à la température de  $T_0 \simeq 4^\circ\text{C}$ . À cette température précise, le volume de l'eau n'est pas influencé par la température, c'est-à-dire :

$$\beta_T(4^\circ\text{C}) = \frac{1}{V} \cdot \left. \frac{\partial V}{\partial T} \right|_P (4^\circ\text{C}) = 0 \quad (\text{à } P = P_0)$$

La nullité de ce coefficient s'explique par le fait qu'à  $4^\circ\text{C}$ , une masse donnée d'eau liquide atteint son volume minimal (et donc, au minimum de  $V(T)$ , la dérivée est nulle).

## II - PARTIE EXPÉRIMENTALE

L'idée générale du TP est de remplir un ballon d'un volume d'eau connue, puis de le chauffer à différentes températures pour mesurer les volumes correspondants. On pourra alors comparer  $V(T)$  mesuré au  $V(T)$  calculé juste au-dessus, et éventuellement en déduire la valeur de  $\alpha$ .

Puisque la variation de volume est faible, il est nécessaire que récipient soit de forme particulière. Via un bouchon troué, on lie une ouverture du ballon bicol à un tube en verre fin et long, de sorte à ce qu'une faible variation de volume d'eau dans le ballon se traduise par une variation de hauteur conséquente dans le tube.

### II.1 - Mesure du diamètre intérieur du tube

Lors de l'expérience, on mesurera la variation de hauteur d'eau dans le tube. **Or, ce qui nous intéresse est le volume total de l'eau, et non pas de hauteur d'eau dans le tube.** Il est donc nécessaire de connaître le diamètre intérieur du tube, grâce auquel on pourra remonter au volume total de l'eau via la mesure de la hauteur d'eau dans le tube.

- Proposer une expérience permettant de mesurer le diamètre intérieur du long tube sans passer par l'utilisation d'un pied à coulisse (qui serait très imprécise, compte-tenu de l'étroitesse du tube). On suppose la masse volumique de l'eau approximativement connue :  $\rho_{\text{eau}} \approx 1000 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ , et la paillasse professeur dispose d'une balance précise à 0,1 g.

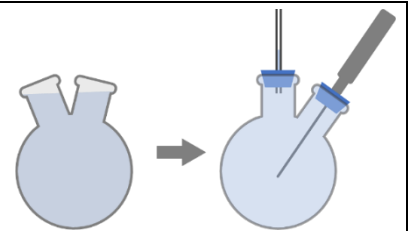
**Réaliser l'expérience permettant de déterminer le rayon intérieur du tube**

### II.2 - Mesure du coefficient de dilatation thermique de l'eau

On remplira un ballon bicol presque à ras-bord, d'une masse  $m_e$  d'eau précisément mesurée. L'eau disponible sur la paillasse professeur est à  $0^\circ\text{C}$ , ce qui permet de se placer très proche de la température  $T_0 = 4^\circ\text{C}$  de référence à laquelle la densité de l'eau est parfaitement connue ( $\rho_{\text{eau}} = 1000 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ).

Via la masse, on peut alors calculer le volume  $V_i$  introduit dans le bicol au début de l'expérience. Les deux bouchons troués permettent de faire passer le tube en verre, et la sonde du thermomètre (qui permet de relever la température initiale  $T_i$ ).

**Attention :** Une fois l'eau versée dans le ballon (sur la balance), il faudra insérer le bouchon et le tube, ainsi que le thermomètre **sans perdre trop d'eau** (sinon, il faut peser à nouveau). Une fois le tube introduit, on doit **voir la hauteur d'eau dans le tube** ; c'est la hauteur initiale  $h(T_i) = 0$ , qui correspond au volume initial  $V_i$ . Lors du chauffage, c'est la mesure de la hauteur  $h$  permet de connaître à chaque instant le volume d'eau total dans le ballon.



Une fois la hauteur  $h(T_i)$  repérée, on placera le ballon dans le chauffe-ballon, en veillant à ce que :

- Le montage soit stable (le ballon doit être tenu au niveau du col par une pince liée à une potence) ;
- Aucune bulle d'air ne soit présente dans le ballon (car on cherche à mesurer des propriétés de l'eau, pas de l'air).
- Les bouchons soient très bien enfoncés et le thermomètre bien coincé : si de l'eau sort, la mesure du volume n'est plus valable !

On pourra alors déclencher le chauffage, et relever le couple  $(h(T), T)$  pour une quinzaine de points entre  $T_i$  et environ  $50^\circ\text{C}$ .

**RÉALISER L'EXPÉRIENCE PERMETTANT LA MESURE DE  $\beta_T$  (en sachant quoi mesurer, et ce à quoi on s'attend)**

Une fois les mesures obtenues, éteindre le chauffe-ballon, retirer le ballon bicol et vider l'eau (afin que tous les éléments puissent refroidir et que le second groupe soit dans les mêmes conditions que le premier).

Il reste à déterminer la variation de  $\beta_T$  à l'aide d'un logiciel de traitement de données, comme Regressi.

- En utilisant les résultats de la partie théorique, déterminer quelles grandeurs tracer en ordonnée et en abscisse d'un graphique pour déterminer le coefficient  $\alpha$  (et donc  $\beta_T$ ) par une régression affine. Proposer une valeur de  $\alpha$  (avec unité et incertitudes).
- La variation linéaire de  $\beta_T$  proposée dans l'énoncé est-elle satisfaisante ?

**Attendus de la présentation orale :** Rappel du modèle mathématique de variation de volume de l'eau ; Schéma du protocole expérimental ; Graphique présentant les points expérimentaux, sur lequel on affiche l'ajustement affine ; Conclusion quant à la validité du modèle. Parmi toutes les mesures réalisées, on réfléchira à celles qui sont susceptibles de causer le plus d'erreurs : incertitude de la balance ? mesure du diamètre du tube ? thermomètre numérique ? ou autre ?