Dilatation des solides et des liquides

Ce qu'il faut savoir sur...

1 la dilatation des solides

1.1 Dilatation linéïque

Sous l'effet d'une élevation de température, la longueur d'un fil métallique augmente comme le montre l'expérience de la figure 1.

L'augmentation de la longueur ℓ d'un solide porté de la température t à la température t' est :
- **proportionnelle à sa longueur initiale ℓ**
- **proportionnelle à l'élévation de température $\triangle t = t' - t$,**

soit $\boxed{\triangle \ell = \alpha . \ell . \triangle t}$

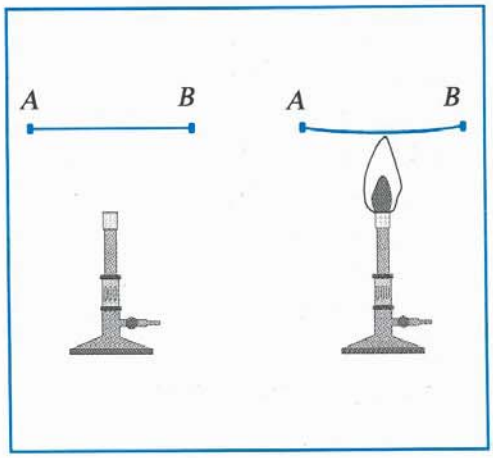


Fig. 1. Un fil métallique AB s'allonge lorsqu'on le chauffe.
Après refroidissement, il reprend sa longueur initiale

Si ℓ' est la nouvelle longueur du solide, ℓ' est donc donnée par la relation : $\ell' = \ell(1 + \alpha . \triangle t)$.

α est **le coefficient de dilatation linéïque.** Il dépend de la substance constituant le solide (fig. 4). Il s'exprime en **kelvin^{-1}.**

ℓ et ℓ' s'expriment en mètre dans le SI et t et t' en kelvin.

Cependant, si nous exprimons t et t' en °C, nous ne changeons pas la valeur de $\triangle t$.

1.2 Dilatation volumique

Comme le montre l'expérience de la figure 2, le volume d'un solide augmente si on élève sa température.

L'augmentation de volume $\triangle V$ d'un solide porté de la température t à la température t' est :
- **proportionnelle au volume initial V**
- **proportionnelle à l'augmentation de température $\triangle t = t' - t$,**

soit $\triangle V = \alpha_v . V . \triangle t$

Le nouveau volume est $V' = V(1 + \alpha_v \triangle t)$

α_v est le coefficient de dilatation volumique en K^{-1}.

$\boxed{\alpha_v = 3\alpha}$ *pour une substance donnée*

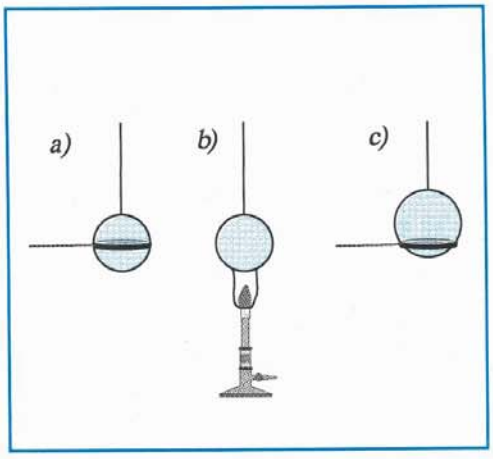


Fig. 2. *a) La sphère passe à travers l'anneau.*
b) On chauffe la sphère métallique avec un bec bunsen.
c) La sphère chauffée ne passe plus à travers l'anneau : son volume a augmenté.

2 la dilatation apparente d'un liquide

2.1 Dilatation apparente d'un liquide

Un liquide est la plupart du temps contenu dans un récipient solide. Lorsqu'il y a augmentation de température, le récipient et le liquide se dilatent simultanément. Ce que l'on observe alors est la différence de dilatation entre le liquide et le récipient. **C'est la dilatation apparente du liquide** (figure 3).

En fait, les solides se dilatant beaucoup moins que les liquides, on peut souvent négliger la dilatation du récipient. La dilatation apparente est alors la même que la dilatation absolue du liquide.

Sur l'expérience de la figure 3, la dilatation absolue correspond au volume compris entre les niveaux B et C alors que la dilatation apparente correspond au volume compris entre A et C.

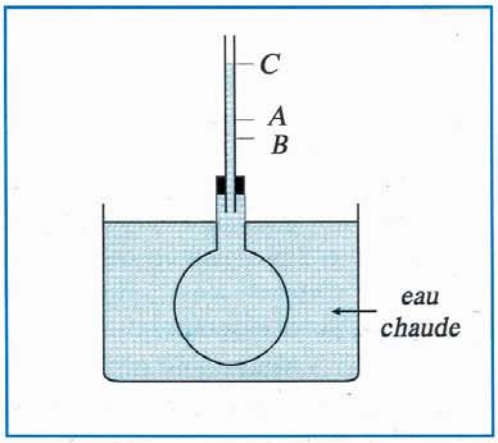


Fig. 3. Observation de la dilatation apparente d'un liquide.
Le ballon se dilate en premier : le liquide descend en B. Le liquide se dilate ensuite : le niveau atteint C.
Avant chauffage le niveau était en A.

2.2 Dilatation absolue d'un liquide

Comme pour les solides, l'expérience montre que :

l'augmentation du volume $\triangle V$ d'un liquide sous l'effet d'une élévation de température est :
- **proportionnelle à son volume initial V**
- **proportionnelle à l'élévation de température $\triangle t = t' - t$**

$$\triangle V = \alpha_v . V . \triangle t$$

α_v en K^{-1}, **et le nouveau volume est** $V' = V(1 + \alpha \triangle t)$

La dilatation des liquides est très supérieure à celle des solides (fig. 4).

3 Valeurs numériques des coefficients de dilatation

SOLIDES	$\alpha(K^{-1})$	$\alpha_v(K^{-1})$	LIQUIDES	$\alpha_v(K^{-1})$
Quartz	$0{,}5.10^{-6}$	$1{,}5.10^{-6}$	Mercure	$1{,}8.10^{-4}$
Invar (Fe + Ni)	$0{,}9.10^{-6}$	$2{,}7.10^{-6}$		
Pyrex	3.10^{-6}	9.10^{-6}	Eau	5.10^{-4}
Verre	8.10^{-6}	24.10^{-6}		
Fer	11.10^{-6}	33.10^{-6}	Pétrole	9.10^{-4}
Acier	12.10^{-6}	36.10^{-6}		
Cuivre	17.10^{-6}	51.10^{-6}	Alcool	10.10^{-4}
Argent	19.10^{-6}	57.10^{-6}		
Aluminium	22.10^{-6}	66.10^{-6}		

Fig. 4. Coefficients de dilatation linéïque et volumique des solides et volumique des liquides.
On constate que v pour les liquides est en moyenne 100 fois plus grand que celui des solides.

Tests

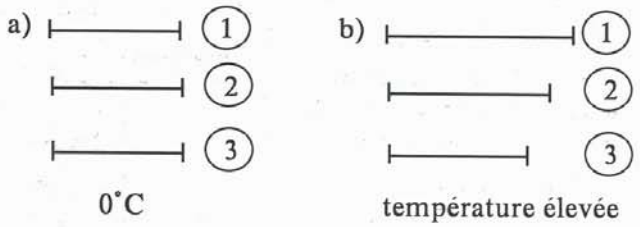
Vérifiez vos connaissances sur...

1 les unités à utiliser

Pour utiliser les formules :
$\ell' = \ell(1 + \alpha\triangle t)$ ou $V' = V(1 + \alpha_v\triangle t)$ est-il indispensable d'exprimer les longueurs en mètres et les températures en kelvin ? Expliquez pourquoi.

2 la comparaison des dilatations de différents métaux

Trois barres métalliques ont la même longueur à 0°C (a). On les porte à une température très élevée et on obtient les longueurs représentées sur le schéma b).
Sachant que l'une des barres est en fer, l'autre en cuivre et la troisième en aluminium, dire quel métal constitue la barre (1), la (2) et la (3). Si on refroidit les trois barres à une température négative, laquelle sera la plus courte ?



3 la limitation de la dilatation

L'invar est un alliage de nickel et de fer contenant 35,6 % de nickel. A l'aide de la figure 4, comparez sa dilatation avec celle des autres métaux. Pour quelles réalisations pratiques aura t-on intérêt à utiliser de l'invar ?

4 la variation de la masse volumique

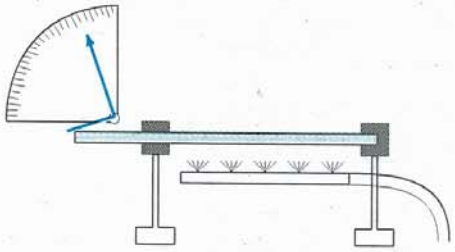
On rappelle que la masse volumique d'une substance est égale au quotient de la masse d'un objet réalisé dans cette substance par son volume. Que devient cette masse volumique quand la température augmente ? Citez une application pratique de ce phénomène.

5 le maintien d'une longueur constante

Le mètre a longtemps été défini comme étant la distance entre deux traits parallèles tracés sur une barre en platine irridié appelée pour cette raison "mètre étalon". Quelles précautions faut-il prendre pour conserver cette barre si on veut que la distance entre les deux traits soit toujours égale à 1 mètre ?

6 un appareil destiné à la mesure des dilatations

L'appareil ci-contre peut servir à mesurer les températures.
Expliquez le principe de son fonctionnement.
A quel endroit de la graduation se trouvent les températures les plus élevées ? les plus basses ?



7 le choix d'un matériau

Pour fabriquer une règle graduée quel métal choisiriez-vous parmi ceux cités sur la figure 4 ? Justifiez votre réponse.

8 le calcul d'une longueur en tenant compte de la dilatation

Calculez la longueur à 200°C d'une tige de fer dont la longueur est de 2 m à 0°C. (Se reporter à la figure 4 du cours).

9 le calcul d'un allongement

Une barre de cuivre de 1,50 m de longueur est portée de la température de 20°C à la température de 400°C. Quel allongement subit-elle ?

Exercices

Appliquez vos connaissances

10 Relation entre α et α_v

Nous avons admis dans le cours qu'entre α et α_v existait la relation $\alpha_v = 3\,\alpha$. En fait, cette égalité n'est pas tout à fait exacte. C'est ce que vous allez démontrer en considérant un cube en métal.

1) Ecrivez la relation existant entre l'arête *a* du cube à la température t et son arête *a'* à la température t'.

2) Donnez l'expression du volume V du cube à la température t puis à la température t'. Développez cette dernière expression.

On rappelle que $(a + b)^3 = a^3 + 3ab^2 + 3a^2b + b^3$.

3) Exprimez V' en fonction de V et dites à quelle condition $V' = V(1 + 3\,\alpha\triangle t)$ (on considèrera $\triangle t$ non négligeable).

4) Montrez que la condition précédente est bien vérifiée en vous aidant des valeurs numériques de la figure 4 page 59.

11 Identification d'un métal à partir d'une dilatation

Une règle métallique mesure 100,0 cm à 20°C. On la chauffe jusqu'à 200°C. Sa nouvelle longueur est l' = 100,4 cm.

1) Exprimez la relation donnant l' en fonction de l, longueur à 20°C, et de $\triangle t = t' - t$. Déduisez-en l'expression littérale du coefficient de dilatation linéïque α en fonction de l, l', t et t'.

2) Calculez α et, à l'aide de la figure 4, identifez le métal constituant la règle.

3) Quelle serait la longueur de cette règle à −20°C ?

12 Variation de la masse volumique avec la température

La masse volumique du mercure est de 13,600 $kg.dm^{-3}$ à 0°C.

1) Donnez l'expression générale de la masse volumique μ en fonction de la masse m et du volume V correspondant.

2) Exprimez littéralement les masses volumiques μ_o à 0°C et μ_t à t°C en fonction de m, V_o, V_t α_v et t.

3) Donnez la relation entre μ_t et μ_o.

4) Calculez μ_t, masse volumique du mercure à 25°C. Concluez.

13 Augmentation de surface sous l'effet de la chaleur

Une plaque en fer mesure 2 m sur 3 m lorsque ces dimensions sont mesurées à 20°C.

1) Calculez sa surface à 20°C.

2) Calculez ses nouvelles dimensions lorsque sa température s'élève jusqu'à 50°C.

3) Calculez la nouvelle surface de la plaque à 50°C. Quelle conséquence pratique en tirez-vous quand à l'utilisation des plaques métalliques en construction ?

14 Exercice résolu

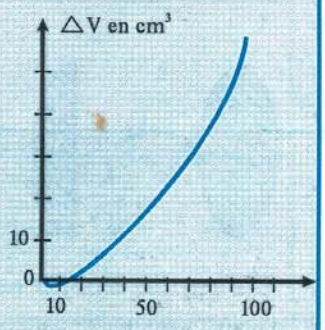
Dilatation de l'eau

L'étude expérimentale de la dilatation de l'eau a conduit aux résultats suivants :

1) Tracez la courbe donnant $V - V_o$ en fonction de température.

2) La dilatation de l'eau obéit-elle à la loi de dilatation des autres liquides ? pourquoi ?

Température	Volume de l'eau
0°C	1000,00 = V_o
4°C	999,87
6°C	999,90
8°C	999,99
10°C	1000,14
20°C	1001,64
50°C	1011,94
100°C	1043,27

Solution

La dilatation de l'eau ne commence qu'après 4°C. Entre 0 et 4°, le volume de l'eau diminue.
Entre 4 et 100°C, il n'y a pas proportionnalité entre $\triangle V$ et la température comme cela se produit avec les autres liquides.