

# Propriétés thermiques des matériaux.

Dans ce chapitre nous explorons les propriétés thermiques des matériaux, ce qui veut dire la réponse qu'ils ont par rapport à la chaleur ou froid.

## 1 Capacité thermique.

Lorsqu'un matériau est chauffé, sa température augmente comme conséquence de l'absorption d'énergie. La capacité thermique est la propriété qui nous renseigne sur la facilité du matériau à absorber la chaleur. C'est la quantité d'énergie  $dQ$  requise pour produire une augmentation en température  $dT$  :

$$C = \frac{dQ}{dT}$$

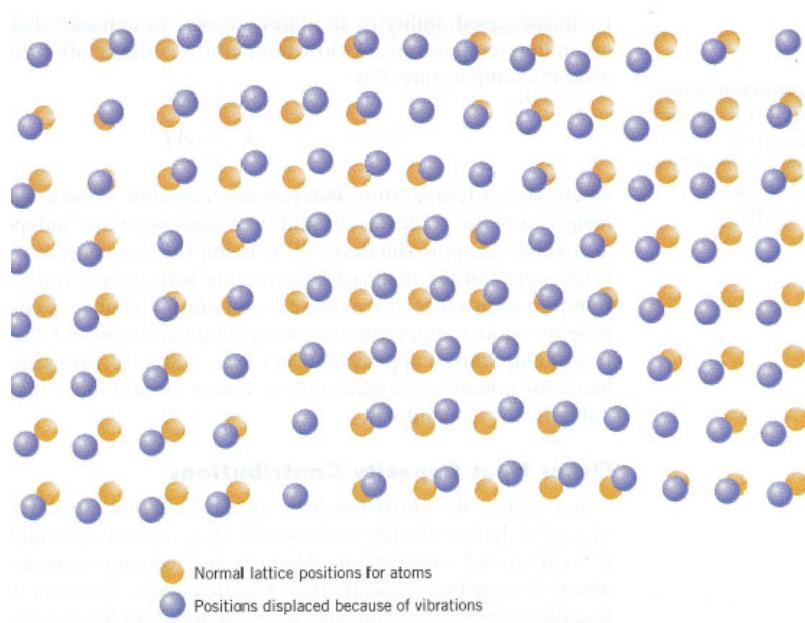
Normalement cette quantité vient donnée par mol, et après elle s'appelle chaleur spécifique,  $c$ . Les unités sont des  $\text{J/mol.K}$ .

Cette quantité peut être mesurée principalement par deux méthodes : soit en maintenant le volume ou la pression constante :  $C_v, C_p$

- **Contributions de la capacité thermique :**

→ **Vibrationnelle :**

Dans la majorité de matériaux, la manière principale pour acquérir l'énergie thermique est en augmentant l'énergie vibrationnelle des atomes.



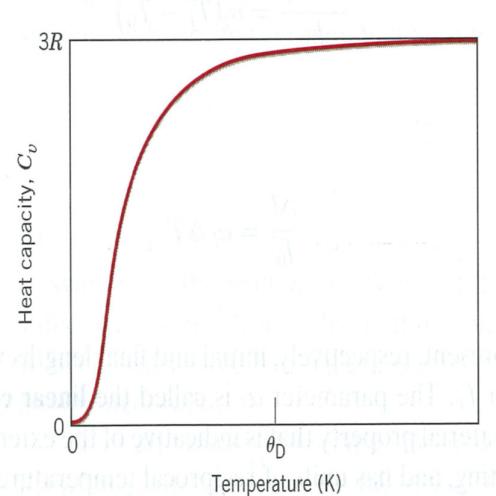
Comme nous l'avons vu précédemment à  $T \neq 0$  les atomes dans un matériau ne restent pas tout le temps sur la même position sinon qu'ils oscillent avec des petites amplitudes. Ceci est schématisé dans la figure ci-dessus. Ces vibrations sont coordonnées de telle façon qu'elles se propagent dans le matériau (comme le montre la figure).

L'énergie vibrationnelle d'un matériau consiste de plusieurs ondes élastiques, qui ont une certaine distribution en fréquences (énergie). Chaque état vibrationnel est unique et quantisé, l'état quantisé étant le phonon.

La valeur de  $C_v$  à 0K est zéro et augmente rapidement en température de la forme :

$$C_v \sim AT^3$$

A partir d'une certaine  $T$ , la température de Debye, la capacité thermique sature.



- **Autres contributions :**

Il y a d'autres mécanismes qui permettent aux matériaux d'absorber de l'énergie. Il s'agit des contributions mineures ou qui sont importantes dans des situations minoritaires. Nous trouvons que les électrons libres peuvent contribuer et aussi les changements de phase.

## 2 Expansion thermique.

La majorité de matériaux augmentent leur volume lorsque la température augmente. Le changement en longueur d'un matériau peut être exprimé comme :

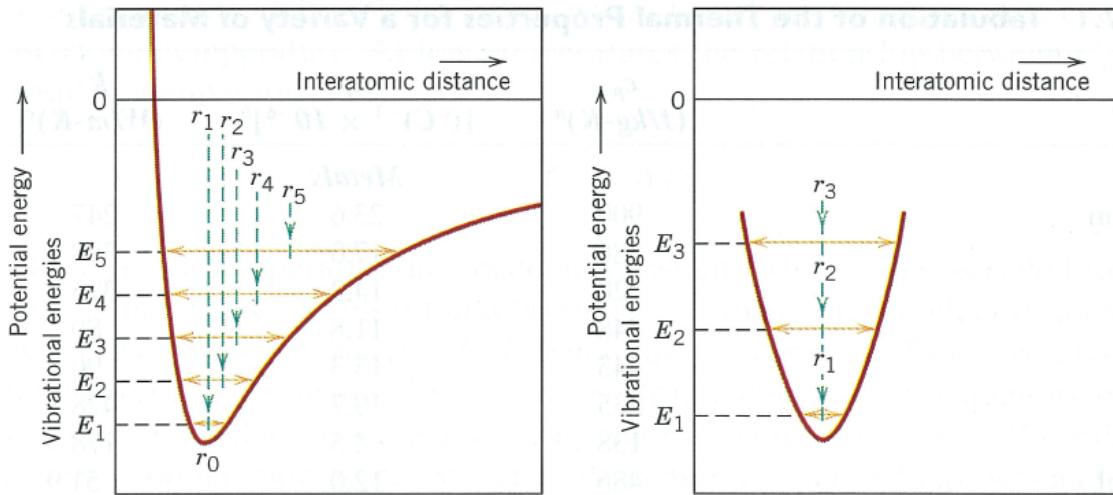
$$\frac{l_f - l_o}{l_o} = \alpha_l (T_f - T_o) \rightarrow \frac{\Delta l}{l_o} = \alpha_l \Delta T$$

Où  $l_f$ ,  $l_o$ ,  $T_f$ ,  $T_o$ , sont les longueurs et températures finales et initiales et  $\alpha_l$  est le coefficient linéaire d'expansion. Pour le changement de volume :

$$\frac{\Delta V}{V_o} = \alpha_V \Delta T$$

Si le matériau est isotopique on trouve  $\alpha_V = 3\alpha_l$ .

Du point de vue atomistique une augmentation en volume est liée à une augmentation entre la distance interatomique. Pour comprendre ceci il faut faire appel à l'énergie potentielle qui lie les atomes entre eux, en fonction de la distance. Cette courbe est montrée dans la figure ci-dessous et comparée à ce que l'on aurait si le potentiel était symétrique.



Dans la courbe valide expérimentalement (celle de gauche), nous trouvons un minimum à  $r_0$ , qui correspond à la distance moyenne entre les atomes à 0K. Lorsque l'on augmente la température, on augmente l'énergie vibrationnelle. A cause de l'asymétrie des trous de potentiel la position moyenne augmente vers  $r_1, r_2 \dots$  lorsque les états vibrationnels augmentent en énergie. Par exemple, lorsque l'énergie de cohésion est grande, la courbe de potentiel est plus étroite, ce qui donne un coefficient d'expansion plus petit.

- Les **céramiques** sont les matériaux avec le coefficient d'expansion le plus petit, à cause de leur grande énergie de cohésion. Les valeurs du coefficient oscillent entre  $0.5$  et  $15 \times 10^6 \text{K}^{-1}$ .
- Les **métaux** ont un coefficient d'expansion intermédiaire, avec des valeurs entre  $5$  et  $25 \times 10^6 \text{K}^{-1}$ .
- Les polymères ont des coefficients d'expansions très grands, avec les types de polymères qui ont les liaisons les plus faibles avec les coefficients les plus élevés. Ils ont des valeurs entre  $50$  et  $400 \times 10^6 \text{K}^{-1}$ .

### 3 Conductivité thermique

La conduction thermique est le phénomène par lequel la chaleur est transportée des régions plus chaudes aux plus froides d'un matériau. Ceci s'exprime de la façon :

$$q = -k \frac{dT}{dx}$$

Où  $q$  est le flux de chaleur par unité de temps et surface,  $k$  est la conductivité thermique et  $dT/dx$  le gradient en température. Les unités de  $q$  sont  $\text{W/m}^2$  et  $k \text{ W/mK}$

- **Mécanismes de conduction de la chaleur** : La chaleur est transportée dans les matériaux à travers des vibrations du réseau atomique,  $k_l$ , et par les électrons libres,  $k_e$ . On peut décomposer  $k$  en les deux contributions :

$$k = k_l + k_e$$

- **Métaux** : dans les métaux purs, du fait du grand nombre d'électrons, nous avons  $k_e \gg k_l$ . La conductivité thermique est très élevée et due principalement à la contribution des électrons.

Les valeurs de  $k$  se trouvent entre  $20$  et  $400 \text{W/m.K}$ .

Comme les électrons libres sont responsables pour la conduction électrique et thermique, il y a forcément une relation entre les deux. Il s'agit de la loi Wiedemann-Franz :

$$L = \frac{k}{\sigma T}$$

Où  $L$  est la valeur théorique ( $2.44 \times 10^{-8} \Omega \text{W/K}^2$ )

- **Céramiques** : Dans ce cas, la contribution des électrons est négligeable. Nous avons  $k_e \ll k_l$ . Comme les phonons sont moins effectifs que les électrons pour transporter la chaleur,  $k$  est plus petit que pour les métaux. Les valeurs de  $k$  se trouvent entre 2 et 50 W/m.K.

NOTE : Les verres et céramiques non-ordonnées ont une valeur de  $k$  plus petite parce que les phonons se propagent plus difficilement.

- **Polymères** : Ils sont des mauvais conducteurs de la chaleur et sont souvent utilisés comme des isolateurs thermiques.