

# Conductivité thermique et diffusivité

## Ordre de grandeur

L'objectif n'est pas de connaître réellement les ordres de grandeur mais de retenir quels sont les bons et les mauvais conducteurs thermiques et quels sont les milieux qui transfèrent rapidement la chaleur.

- Ordres de grandeur de la **conductivité thermique**  $\lambda$  en  $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$  :

| Matériau étudié         | Ordre de grandeur de $\lambda$ | Exemples                                                   |
|-------------------------|--------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Métal                   | 100                            | Cu : 386 - Al : 210 - acier : 13 à 46                      |
| Solide ou liquide usuel | $10^{-1}$ à 1                  | verre : 0,7 à 1 - eau : 0,6 - bois : 0,1 à 0,2             |
| Gaz                     | $10^{-2}$                      | air : $2,6 \cdot 10^{-2}$                                  |
| Solide + gaz emprisonné | $10^{-2}$                      | laine de verre : 0,04 - duvet : 0,02 - polystyrène : 0,004 |

Rq : il n'est présenté ici que les matériaux usuels ; certaines huiles silicones ont des conductivités thermiques allant jusqu'à  $10^{-7} \text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$  et sont donc exceptionnellement isolantes.

Les ordres de grandeur de  $\lambda$  permettent d'analyser l'**intensité** des transferts thermiques diffusifs :

**$\lambda$  élevé  $\Rightarrow$  flux thermique élevé à  $T(\vec{r}, t)$  fixé i.e. « bon conducteur thermique »**

Justification :  $\vec{j}_Q = -\lambda \vec{\text{grad}}(T)$  /  $\Phi = G_{th} (T_2 - T_1)$  avec  $G_{th} = \frac{\lambda S}{L}$  (en ARQS)

- Ordres de grandeur de la **diffusivité thermique**  $D = \frac{\lambda}{\rho c}$  :

| Matériau étudié         | $\lambda$ ( $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ) | $\rho$ ( $\text{kg.m}^{-3}$ ) | $c$ ( $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ) | $D$ ( $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$ ) |
|-------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------|
| Métal                   | 100                                           | $10^3$ à $10^4$               | $10^3$                                   | $10^{-5}$ à $10^{-4}$              |
| Solide ou liquide usuel | $10^{-1}$ à 1                                 |                               |                                          | $10^{-7}$ à $10^{-6}$              |
| Gaz                     | $10^{-2}$                                     | 1                             |                                          | $10^{-5}$ à $10^{-4}$              |

Les ordres de grandeur de  $D$  permettent d'analyser la **rapidité** des transferts thermiques diffusifs :

**$D$  élevé  $\Rightarrow$  diffusion thermique rapide**

Justification : sur une distance  $L$ , la diffusion est efficace au bout d'une durée  $\tau = L^2/D$

- Analyse de ces ordres de grandeur :

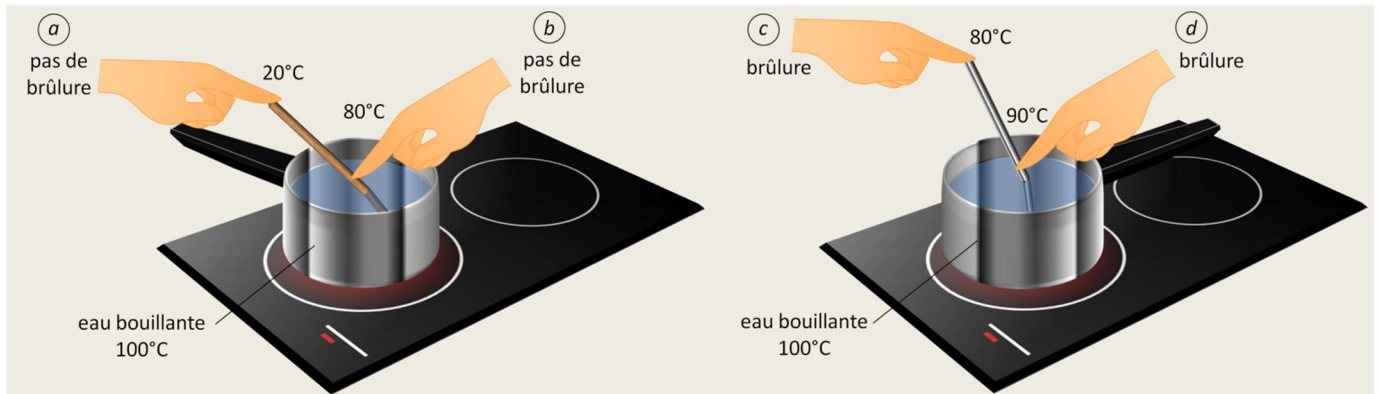
➤ Parmi les solides et les liquides, les métaux sont à la fois les meilleurs conducteurs thermiques et ceux qui permettent les transferts thermiques les plus rapides.

*Explication :*

Ce sont également les meilleurs conducteurs électriques et ces deux propriétés sont liées ; en effet, les électrons de conduction, libres de se déplacer, assurent un transport efficace de charge et d'énergie au sein du métal ; dans un solide ou un liquide non métallique, ce transport se fait uniquement via les collisions intermoléculaires et est moins efficace.

Citons deux *conséquences pratiques* de cette spécificité des métaux :

- ↳ Mieux vaut utiliser une cuiller en bois qu'une cuiller en inox (acier inoxydable) pour remuer les pâtes dans l'eau bouillante (figure ci-dessous).
- ↳ Inversement, un contact avec une armature métallique à température ambiante nous semble toujours plus « froid » qu'un contact avec un banc en bois à la même température car nous perdons moins d'énergie lors du contact avec le bois.



Deux raisons expliquent qu'on ne se brûle pas en utilisant une cuiller en bois : le bois conduit mal la chaleur (faible conductivité thermique) et il la conduit lentement (faible diffusivité). Ainsi, lorsqu'on plonge une cuillère en bois initialement à 20°C dans l'eau bouillante, la température n'augmente que très lentement le long du manche dont l'extrémité reste froide durant la cuisson (a). Par ailleurs, même en touchant une zone chaude de la cuillère, on s'expose à un transfert thermique relativement peu intense, donc à un risque limité (b). La cuillère métallique, en revanche, conduit « vite et bien » la chaleur : sa température atteint rapidement une valeur élevée en tout point, où un contact avec le métal exposera à un transfert thermique intense, donc à une brûlure (c), (d).

- Les gaz sont de mauvais conducteurs thermiques par rapport aux phases condensées. En revanche ils se réchauffent et se refroidissent rapidement.

*Explication :*

Les chocs intermoléculaires qui assurent la diffusion thermique sont beaucoup moins nombreux que dans les phases condensées d'où une faible intensité des transferts thermiques. En revanche, leur faible masse volumique  $\rho$  leur confère une faible capacité thermique volumique  $pc$  : il leur faut peu d'énergie pour se réchauffer et les transferts thermiques, bien que peu intenses, sont rapides.

Citons deux *conséquences pratiques* de la faible conductivité thermique des gaz :

- ↳ Nous supportons le contact avec de l'air à 90°C (dans un sauna) alors qu'un contact avec de l'eau à 60°C est insupportable.
- ↳ Le gaz semble être le milieu idéal en termes d'isolation thermique. Toutefois, tous nos raisonnements sont effectués en envisageant uniquement la diffusion et il ne faut pas oublier que les fluides peuvent être le siège de transferts thermiques rapides et intenses par convection <sup>1</sup>. Ainsi :

Un bon isolant thermique solide est en général une structure où du gaz est emprisonné dans un milieu poreux (polystyrène), vitreux (laine de verre) ou autre (duvet, fourrure) afin de profiter de la faible conductivité du gaz et de supprimer toute convection.

<sup>1</sup> Pour bien sentir la différence entre diffusion et convection au sein d'un gaz, prenez une bougie et mettez alternativement votre main à côté puis au-dessus de la flamme...

