

Hg	4,15
Sn	3,7
Al	1,18
Zn	0,85
Zr	0,6
Ti	0,4

3.2 Les propriétés thermiques

3.2.1 Conductivité thermique

La conductivité thermique (λ) est une caractéristique propre à chaque matériau, elle indique la quantité de chaleur qui se propage par conduction thermique et s'exprime en W/mK (Figure 3-6):

- En 1 seconde,
- À travers 1 m² d'un matériau,
- Épais d'un 1 m,

Lorsque la différence de température entre les deux faces est de 1 K (1 K = 1°C).

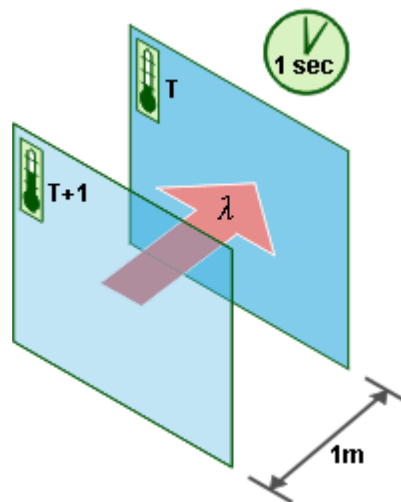


Figure 3-6: Mesure de la conductivité thermique.

Plus la conductivité thermique est élevée, plus le matériau est conducteur de chaleur. Plus elle est faible, plus le produit est isolant. Le coefficient n'est valable que pour les matériaux homogènes. Il n'a pas de sens pour les matériaux hétérogènes au travers desquels la chaleur se propage en même temps par conduction, convection et rayonnement. Le coefficient de

Chapitre 3 : Propriétés physiques

conductivité thermique λ d'un matériau varie en fonction de la température et de l'humidité de celui-ci.

Les documentations technico-commerciales des matériaux devront donc préciser avec la valeur du λ les conditions dans lesquelles cette valeur est obtenue. Généralement, les valeurs normales d'utilisation sont obtenues à températures entre 10°C et 20°C.

Pratiquement on distinguera :

λ_i	Conductivité thermique d'un matériau dans une paroi intérieure ou dans une paroi extérieure, à condition que le matériau soit protégé contre l'humidité due à la pluie ou à la condensation.
λ_e	Conductivité thermique d'un matériau dans une paroi extérieure qui n'est pas protégé contre l'humidité due à la pluie ou à la condensation.

Remarque : λ est une caractéristique physique du matériau indépendant de sa forme.

3.2.2 Conductivité thermiques de quelques classes des matériaux.

Les coefficients de conductivité thermique des matériaux varient énormément en fonction de la nature de ceux-ci (*Figure 3-7*).

- **Les métaux** : 35 (plomb) à 380 (cuivre) W/mK.
- **Les pierres** : 1,4 (pierre demi-fermes) à 3,5 (pierres lourdes) W/mK.
- **Les bétons lourds** : 1,3 (non armé sec) à 2,2 (armé humide) W/mK.
- **Les briques** : 0,22 (léger sec) à 1,61 (lourd humide) W/mK.
- **Le bois** : 0,13 (résineux sec) à 0,20 (feuillu humide) W/mK.
- **Les isolants** : 0,035 (polyuréthane revêtu) à 0,090 (vermiculite expansée en panneau) W/mK. Ainsi, il est facile à déduire que :
 - ✓ Le cuivre est plus de 10 000 fois plus conducteur de chaleur que le polyuréthane.
 - ✓ Le polyuréthane conduit 100 fois moins la chaleur que la pierre lourde

	sec	hum.	
Matériaux isolants	0,028		polyuréthane
	0,040		laine minérale, liège
	0,058		vermiculite
	0,065		perlite
Bois et dérivés	0,17	0,19	feuillus durs
	0,12	0,13	résineux
Maçonneries	0,27	0,41	briques 700-1000 kg/m ³
	0,54	0,75	briques 1000-1600 kg/m ³
	0,90	1,1	briques 1600-2100 kg/m ³
Verre	1,0	1,0	
Béton armé	1,7	2,2	
Pierres naturelles	1,40	1,69	tuft, pierre tendre
	2,91	3,49	granit, marbres
Métaux		45	acier
		203	aluminium
		384	cuivre

Figure 3-7: Conductivité thermique des différentes classes des matériaux.

3.2.3 Aspects macroscopiques de la conduction : lois de Fourier

L'essentiel sur l'aspect macroscopique de la conductivité thermique a été dit par Fourier en 1822. Celui-ci a été le premier à exprimer de manière précise la proportionnalité entre **le flux thermique** (Q) et **le gradient de température** (dT/dx).

Lorsqu'il existe une différence de température entre les deux extrémités d'un conducteur distantes de (dx), il s'établit un flux de chaleur (Q) qui est analogue à un courant électrique résultant d'une différence de potentiel. Dans le cas d'un écoulement thermique unidirectionnel dans un matériau isotrope, le flux de chaleur (Q) exprimé en Wm^{-2} , et la différence de température (dT) sont liés par la relation suivante (c'est la première loi de Fourier) :

$$Q = k \frac{dT}{dx} \quad \text{Eq 3-5}$$

Le coefficient de proportionnalité reliant le flux thermique (Q), (dT/dx) est le gradient de température dans la direction (x), et (k) le coefficient de conductivité thermique en ($Wm^{-1}K^{-1}$). Cette expression est analogue à la première loi de Fick donnant le flux de diffusion de la matière. La première loi de Fourier ne s'applique que si le gradient de température reste constant

dans le temps. Si le gradient de température n'est pas constant, la variation de la température en un point du conducteur en fonction du temps est donnée par la seconde loi de Fourier:

$$\frac{dT}{dt} = D_T \frac{d^2T}{dx^2} \quad \text{Eq 3-6}$$

Le coefficient de diffusion thermique (D_T) de l'équation 3-6 est relié à la conductivité thermique (k) par la relation :

$$D_T = \frac{k}{\rho C_p} \quad \text{Eq 3-7}$$

Dans cette expression, C_p est la capacité calorifique massique (chaleur spécifique) à pression constante et ρ la masse volumique. L'équation 3-6 donne la vitesse à laquelle une onde thermique plane se propage de manière unidirectionnelle dans une substance conductrice isotrope. La seconde loi de Fourier est analogue à la seconde loi de Fick, et le même type de solutions mathématiques est applicable dans les deux cas.

3.2.4 Mécanismes de conduction thermique

La conductivité thermique (k) se calcule à partir de la cinétique des gaz :

$$k = \frac{1}{3} C_v l v \quad \text{Eq 3-8}$$

Dans cette formule, (C_v) représente la capacité calorifique à volume constant, (v) la vitesse des particules vecteurs de la conductivité et (l) leur libre parcours moyen. Cette formule s'applique aussi bien dans le cas de la conductivité thermique électronique que dans le cas de la conductivité thermique phonique du réseau.

Nous avons vu précédemment (*Figure 3-5*) que la conductivité électrique était directement proportionnelle au nombre d'électrons mobiles présents dans les matériaux. Dans le cas des métaux qui ont une densité d'électrons mobiles supérieure à 10^{23} par cm^3 , la conductivité thermique est également proportionnelle à la densité d'électrons mobiles. Dans ce cas, l'énergie thermique est véhiculée presque exclusivement par les électrons.

Chapitre 3 : Propriétés physiques

Comme nous l'avons vu précédemment aussi, il existe des solides qui sont connus pour être des isolants électriques mais qui conduisent la chaleur aussi bien que les métaux. Cette observation nous amène à penser qu'il existe au moins un autre mécanisme de conduction thermique que celui faisant intervenir des électrons mobiles. Le mécanisme qui est en majeure partie responsable du transport de la chaleur dans les isolants électriques fait intervenir *les vibrations du réseau cristallin*. On parle dans ce cas de conductivité thermique de réseau ou conductivité thermique par *phonons*.

Dans un solide, les atomes vibrent constamment autour de leur position d'équilibre et l'amplitude des vibrations croît avec la température. Si on fournit de l'énergie thermique à une extrémité d'un cristal, l'amplitude des vibrations atomiques augmente à cette extrémité. À cause des forces interatomiques qui assurent la cohésion du cristal, tout mouvement d'un atome influence ses voisins immédiats et se transmet de proche en proche sous la forme d'une onde dans la direction du gradient thermique. *C'est par ce mécanisme que la chaleur est conduite dans les isolants électriques.*

3.3 Les propriétés magnétiques

3.3.1 Notions de base sur le magnétisme

Les propriétés magnétiques des matériaux ont un rôle majeur dans des domaines comme les machines électriques (moteurs électriques, génératrices, transformateurs) et le stockage de l'information (bandes et pistes magnétiques, disques durs). Dans cette partie, nous décrirons d'une manière très simplifiée, les comportements magnétiques les plus fréquents des matériaux ainsi que le caractère exceptionnel de leurs propriétés, tels que les aimants.

On peut assimiler la circulation des électrons sur les orbitales atomiques à un courant électrique tournant en boucle. Ce mouvement génère un moment magnétique perpendiculaire au plan de l'orbitale. De même, un électron qui tourne sur lui-même génère un moment magnétique, qui est toujours le même en intensité mais affecté d'un signe (+) ou (-) selon le sens de rotation.

Si toutes les couches électroniques d'un atome sont remplies, la somme de ces courants est nulle et cet atome n'aura aucun moment magnétique résultant. Il sera insensible à un champ magnétique externe et fera partie des matériaux diamagnétiques. C'est le cas des gaz rares, du carbone diamant ou du magnésium. Seuls les atomes dont les couches sont incomplètes possèdent un moment magnétique. Mais il faut considérer deux cas :