

Avant-propos

Pourquoi un livre sur la métrologie thermique et plus particulièrement sur la mesure des propriétés thermiques des matériaux ?

La réponse à cette question est double :

- pour connaître et améliorer les matériaux ;
- pour alimenter les codes de calcul pour la modélisation des systèmes complexes.

Les spécialistes du génie des matériaux sont capables de fabriquer à la demande de nouveaux matériaux à propriétés spécifiques, il est donc impératif de pouvoir les caractériser avec le plus de précision possible, et ainsi orienter de nouvelles recherches.

Le deuxième challenge est celui d'alimenter dans de bonnes conditions les codes de calcul. En effet, ces derniers, devenant de plus en plus performants, réclament des valeurs des paramètres de plus en plus précises ; à chaque amélioration des codes il est nécessaire d'améliorer les mesures.

On pourrait ajouter à ces deux raisons techniques une raison plus sociétale : la maîtrise de l'énergie, qui passe en particulier par une utilisation de matériaux isolants performants. Cette dernière est de la plus haute importance dans les domaines les plus énergivores, en particulier :

- l'industrie, dont certains secteurs sont de très gros consommateurs d'énergie, comme les fours verriers, les cimenteries ou la sidérurgie ;
- le bâtiment, avec la nécessité de développer des isolants thermiques plus performants ;
- les transports, avec l'allègement des structures.

Le présent ouvrage se veut donc accessible à tous ceux, thermiciens ou non, qui ont besoin de mesurer les propriétés thermiques d'un matériau. L'objectif est de leur permettre de choisir la méthode de mesure la mieux adaptée au matériau à caractériser et de leur transmettre toutes les informations permettant de la mettre en œuvre avec le maximum de précision.

Un premier chapitre présente les différents modes de transferts de chaleur et les propriétés thermiques des matériaux. Les équations du transfert thermique sont résolues pour un certain nombre de cas qui apparaîtront par la suite dans les méthodes de caractérisation présentées.

Un deuxième chapitre décrit les outils et méthodes de la métrologie thermique en commençant par le problème, souvent plus complexe qu'on ne le pense, de la mesure de la température. Des outils théoriques comme l'étude des sensibilités réduites et les méthodes d'estimation des paramètres, applicables à tous les domaines de la physique, sont ensuite présentés.

Les deux chapitres suivants décrivent les principales méthodes de caractérisation thermique de type régime permanent d'une part et de type flux/température d'autre part, chaque méthode étant présentée à deux niveaux :

- une première partie décrit les aspects théoriques de la méthode avec une modélisation des transferts thermiques dans le dispositif de mesure. Cette étude théorique permet le plus souvent de fixer les limites d'application de la méthode en termes de valeurs des propriétés thermiques et de dimensions des matériaux à caractériser d'une part, et de durée de mesure dans le cas d'une méthode de régime transitoire d'autre part ;
- une seconde partie décrit de manière complète le dispositif expérimental, la procédure de mesure et le mode d'exploitation des résultats. Cette seconde partie à caractère pratique est destinée aux non-thermiciens et peut être abordée indépendamment de la première. On y rappellera systématiquement de manière simple les conditions d'application fixées par l'étude théorique.

Cette deuxième édition s'est enrichie de la présentation de cinq méthodes récemment développées permettant la caractérisation thermique en conditions extrêmes : pour des matériaux superisolants, pour des matériaux fortement anisotropes et pour des mesures à très haute température.

Un chapitre de synthèse récapitule les domaines d'application de chacune des méthodes présentées et propose pour différents matériaux et dimensions types le choix des méthodes les plus adaptées.

Dans le cas d'un milieu poreux, le calcul du champ de température et des flux de chaleur le traversant ne dépend pas que des propriétés thermiques du milieu. Il est également influencé par les transferts de masse (vapeur d'eau en particulier) et par un éventuel débit d'air pouvant traverser le milieu. La résolution complète des équations nécessite de connaître, en plus des propriétés thermiques, les grandeurs suivantes : coefficient de diffusion massique de la vapeur d'eau, porosité et perméabilité. Après avoir montré l'analogie forte qui existe entre les équations de transfert de chaleur et les équations régissant le transfert de masse et l'écoulement d'un fluide dans un milieu poreux, un nouveau chapitre a été consacré aux méthodes les plus couramment utilisées pour mesurer ces paramètres.

Des documents annexes fournissant de nombreuses données complémentaires sont disponibles en téléchargement : iste.co.uk/jannot/annexes.pdf.

Bonnes mesures !