

# NORME INTERNATIONALE

**ISO**  
**8301**

Première édition  
1991-08-01

---

---

## Isolation thermique — Détermination de la résistance thermique et des propriétés connexes en régime stationnaire — Méthode fluxmétrique

**iTeh STANDARD PREVIEW**

*Thermal insulation — Determination of steady-state thermal resistance  
and related properties — Heat flow meter apparatus*

ISO 8301:1991

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/71d81056-a403-4317-be82-717f553a4b3a/iso-8301-1991>



Numéro de référence  
ISO 8301:1991(F)

## Sommaire

	Page
<b>Section 1 Généralités</b> .....	<b>1</b>
1.1 Domaine d'application .....	1
1.2 Références normatives .....	1
1.3 Définitions .....	2
1.4 Symboles et unités .....	3
1.5 Signification .....	5
1.6 Principe .....	6
1.7 Limitations dans l'utilisation de l'appareillage .....	6
1.8 Limitations dues aux éprouvettes .....	7
<b>Section 2 Appareils et étalonnage</b> .....	<b>10</b>
2.1 Généralités .....	10
2.2 Appareil .....	10
2.3 Instructions pour la conception de l'appareil .....	17
2.4 Étalonnage .....	18
2.5 Vérification des performances .....	20
<b>Section 3 Procédures d'essai</b> .....	<b>23</b>
3.1 Généralités .....	23
3.2 Éprouvettes d'essai .....	23
3.3 Méthode d'essai .....	26
3.4 Procédures nécessitant des mesurages multiples .....	27
3.5 Calculs .....	28
3.6 Rapport d'essai .....	30

iTech STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

[ISO 8301:1991](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/71d81056-a403-4317-be82-717f553a4b3a/iso-8301-1991)

[https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/71d81056-a403-4317-be82-](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/71d81056-a403-4317-be82-717f553a4b3a/iso-8301-1991)

[717f553a4b3a/iso-8301-1991](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/71d81056-a403-4317-be82-717f553a4b3a/iso-8301-1991)

© ISO 1991

Droits de reproduction réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

Organisation internationale de normalisation  
Case Postale 56 • CH-1211 Genève 20 • Suisse

Imprimé en Suisse

**Annexes**

<b>A</b>	Valeurs limites des performances de l'appareil et des conditions d'essais .....	<b>32</b>
<b>B</b>	Fluxmètres .....	<b>35</b>
<b>C</b>	Indications pour l'estimation de l'épaisseur maximale des éprouvettes dans l'appareil à fluxmètre .....	<b>37</b>
<b>D</b>	Thermocouples .....	<b>38</b>
<b>E</b>	Bibliographie .....	<b>40</b>

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

[ISO 8301:1991](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/71d81056-a403-4317-be82-717f553a4b3a/iso-8301-1991)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/71d81056-a403-4317-be82-717f553a4b3a/iso-8301-1991>

## Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

La Norme internationale ISO 8301 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 163, *Isolation thermique*.

L'annexe A fait partie intégrante de la présente Norme internationale. Les annexes B, C, D et E sont données uniquement à titre d'information.

## Introduction

### 0.1 Structure du document

La présente Norme internationale comprend trois sections englobant les informations les plus complètes qu'il a été possible de rassembler et qui sont nécessaires à l'utilisation de l'appareil à fluxmètre, à savoir:

Section 1: Considérations générales

Section 2: Appareils et étalonnage

Section 3: Procédures d'essai

Bien que l'utilisateur de la méthode puisse avant tout centrer ses préoccupations sur la section 3 s'il désire réaliser des essais, il doit impérativement se mettre au courant des deux autres sections, en vue d'obtenir des résultats reproductibles et précis. En particulier, il doit assimiler les connaissances concernant les conditions générales à observer. La section 2 est destinée aux constructeurs d'appareils mais ceux-ci, pour construire un appareil de qualité, devront impérativement se sentir concernés par les autres sections du document.

### 0.2 Transfert de chaleur et propriétés mesurées

Un grand nombre d'essais sont effectués sur des matériaux poreux et de faible masse volumique. Dans ces cas, le transfert de chaleur qui prend place dans ces matériaux peut être le résultat des contributions complexes de divers modes de transfert, c'est-à-dire

- rayonnement,
- conduction en phase solide et en phase gazeuse, et
- convection (dans certaines conditions de service),

ainsi que de leurs interactions combinées à un transfert de masse, en particulier dans les matériaux humides. Par conséquent, la propriété thermique très souvent appelée de manière impropre «conductivité thermique», calculée à partir d'une formule définie et à partir des résultats des mesures de flux thermique, de différence de température et de dimensions obtenues pour une éprouvette donnée, peut ne pas être une propriété intrinsèque du matériau lui-même. Cette propriété, d'après l'ISO 9288, devrait donc être appelée «facteur de transfert» puisqu'elle peut dépendre des conditions d'essai (on parle souvent ailleurs du facteur de transfert comme étant la conductivité thermique apparente ou effective). Le facteur de transfert peut dépendre de façon significative de l'épaisseur de l'éprouvette et/ou de la différence de température, ceci pour des essais effectués à une même température moyenne.

Le transfert de chaleur par rayonnement est la cause principale de l'effet d'épaisseur sur le facteur de transfert. Par suite, non seulement les propriétés du matériau, mais aussi les caractéristiques radiatives des surfaces en contact avec l'éprouvette auront une influence sur les résultats. La résistance thermique est par conséquent une propriété qui caractérisera mieux le comportement thermique de l'éprouvette pourvu qu'on l'accompagne des informations relatives aux surfaces en contact avec celle-ci.

S'il y a possibilité de transfert convectif dans une éprouvette (par exemple dans la laine minérale de faible masse volumique aux basses températures), l'orientation de l'appareil, l'épaisseur et la différence de température peuvent avoir une influence à la fois sur le facteur de transfert et sur la résistance thermique. Dans ce cas, il est au minimum indispensable de préciser complètement la géométrie et les conditions aux limites de l'éprouvette à mesurer, même si l'information fournie dans les procédures d'essai ne couvre pas en détail ces conditions d'essai. De plus, l'estimation de la mesure nécessite des connaissances considérables en particulier pour appliquer les valeurs mesurées dans la pratique.

L'influence de l'humidité présente à l'intérieur d'une éprouvette sur le transfert de chaleur pendant les mesures est aussi un sujet très complexe. Par conséquent, seules des éprouvettes séchées sont à soumettre à essais suivant les modes opératoires normalisés. Les mesurages sur des matériaux humides nécessitent des précautions supplémentaires qui ne sont pas traitées en détail dans la présente Norme internationale.

La connaissance des principes physiques est également très importante quand une propriété de transmission thermique déterminée par cette méthode d'essai est utilisée pour prévoir le comportement thermique d'un matériau spécifique donné dans une application pratique, même si d'autres facteurs, tels que la pose, peuvent influencer ce comportement.

### 0.3 Connaissances requises

La conception et le fonctionnement correct d'un appareil à fluxmètre (voir 1.6.1 et 2.2.2) en vue d'obtenir des résultats satisfaisants et l'interprétation des résultats expérimentaux est une affaire complexe nécessitant un grand soin. Il est recommandé que le concepteur, l'opérateur et l'utilisateur des données mesurées de l'appareil à fluxmètre possèdent des bases approfondies de connaissance des mécanismes de transfert de chaleur dans les matériaux, produits et systèmes concernés, jointes à une expérience des mesures électriques et des mesures de température, en particulier pour les signaux de faible niveau. Des pratiques en laboratoire de bon niveau et en accord avec les procédures d'essais générales doivent également être maintenues. Les connaissances dans chaque domaine peuvent être différentes pour le concepteur, l'opérateur et l'utilisateur des données.

### 0.4 Conception, dimensions et normes nationales

De nombreuses conceptions différentes d'appareils à fluxmètre existent de par le monde en vue de se conformer aux normes nationales actuelles. Des recherches et des actions de développement se poursuivent actuellement pour améliorer les appareils et les techniques de mesure. Il n'est donc pas réaliste d'imposer une conception particulière ou une dimension donnée d'appareil, en particulier parce que les conditions globales imposées peuvent varier de façon tout à fait considérable.

## 0.5 Instructions fournies

Une latitude considérable est laissée au concepteur de nouveaux équipements à la fois en ce qui concerne le domaine de température et la géométrie de l'appareil, étant donné que des réalisations sous différentes formes se sont déjà révélées capables de fournir des résultats comparables. On recommande aux concepteurs de nouveaux appareils de lire avec soin les sources citées dans l'annexe E. Après achèvement d'un nouvel appareil, on recommande de procéder à sa vérification en entreprenant des essais portant sur un ou plusieurs des matériaux de référence actuellement disponibles et correspondant à des ordres de grandeur différents de résistance thermique. La présente Norme internationale souligne seulement les conditions obligatoires à remplir pour concevoir et faire fonctionner un appareil à fluxmètre de façon à obtenir des résultats corrects. Un tableau résumant les valeurs limites pour le fonctionnement de l'appareil et les conditions d'essai citées dans la présente Norme internationale est fourni en annexe A. Elle contient aussi des modes opératoires et des pratiques recommandés ainsi que des dimensions suggérées pour les éprouvettes, cet ensemble d'éléments devant rehausser la qualité méthodologique d'ensemble tout en aidant à améliorer la comparabilité interlaboratoire ainsi que les programmes de mesure en collaboration.

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

[ISO 8301:1991](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/71d81056-a403-4317-be82-717f553a4b3a/iso-8301-1991)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/71d81056-a403-4317-be82-717f553a4b3a/iso-8301-1991>

Page blanche

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

ISO 8301:1991

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/71d81056-a403-4317-be82-717f553a4b3a/iso-8301-1991>

# Isolation thermique — Détermination de la résistance thermique et des propriétés connexes en régime stationnaire — Méthode fluxmétrique

## Section 1: Généralités

### 1.1 Domaine d'application

1.1.1 La présente Norme internationale prescrit l'utilisation des techniques fluxmétriques (voir 2.2.2) pour mesurer le transfert de chaleur en régime stationnaire à travers des éprouvettes en formes de panneaux plans et en déduire par calcul les propriétés de transmission thermique de ces éprouvettes.

Il s'agit d'une méthode secondaire ou relative, puisqu'on mesure le quotient de la résistance thermique d'une (des) éprouvette(s), par celle d'une (des) éprouvette(s) étalon(s).

Les essais effectués conformément à cette méthode d'essai normalisée, doivent l'être avec des éprouvettes dont la résistance thermique est supérieure à  $0,1 \text{ m}^2\text{-K/W}$ , à condition de ne pas dépasser les limites d'épaisseur données en 1.7.2.

1.1.2 Si les éprouvettes satisfont aux exigences de 1.8.1, les propriétés obtenues doivent être considérées comme conductance thermique et résistance thermique ou facteur de transfert de l'éprouvette.

1.1.3 Si les éprouvettes satisfont aux exigences de 1.8.2, la propriété obtenue doit être considérée comme étant la conductivité thermique moyenne pour l'éprouvette soumise à essai.

1.1.4 Si les éprouvettes satisfont aux exigences de 1.8.3, on pourra considérer la propriété obtenue comme la conductivité thermique ou la transmissivité du matériau soumis à l'essai.

### 1.2 Références normatives

Les normes suivantes contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui en est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Toute norme est sujette à révision et les parties prenantes des accords fondés sur la présente Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des normes indiquées ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur à un moment donné.

ISO 7345:1987, *Isolation thermique — Grandeurs physiques et définitions.*

ISO 8302:1991, *Isolation thermique — Détermination de la résistance thermique et des propriétés connexes en régime stationnaire — Méthode de la plaque chaude gardée.*

ISO 9229:—<sup>1)</sup>, *Isolation thermique — Matériaux, produits et systèmes isolants thermiques — Vocabulaire.*

ISO 9251:1987, *Isolation thermique — Conditions de transfert thermique et propriétés des matériaux — Vocabulaire.*

ISO 9288:1989, *Isolation thermique — Transfert de chaleur par rayonnement — Grandeurs physiques et définitions.*

1) À publier.

ISO 9346:1987, *Isolation thermique — Transfert de masse — Grandeurs physiques et définitions.*

**1.3 Définitions**

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les définitions suivantes s'appliquent.

Les grandeurs suivantes sont définies dans l'ISO 7345 ou dans l'ISO 9251:

Grandeur	Symbole	Unité
Flux thermique	$\Phi$	W
Densité du flux thermique	$q$	W/m <sup>2</sup>
Résistance thermique <sup>1)</sup>	$R$	m <sup>2</sup> · K/W
Conductance thermique	$\Lambda$	W/(m <sup>2</sup> · K)
Conductivité thermique <sup>2)</sup>	$\lambda$	W/(m · K)
Résistivité thermique	$r$	m · K/W
Porosité	$\xi$	
Porosité locale	$\xi_r$	

1) Dans certains cas, il peut être nécessaire de prendre en considération la différence de température divisée par le flux thermique; aucun symbole particulier n'est attribué à cette grandeur.

2) Dans le cas le plus général,  $\vec{q}$  et grad  $T$  n'ont pas la même orientation.  $\vec{\lambda}$  n'est pas défini par une seule constante, mais par une matrice de constantes; en outre, la conductivité thermique varie avec la position, la température et le temps à l'intérieur du corps.

température ( $\vec{\lambda}$ ) est défini par l'intermédiaire d'une seule valeur  $\lambda$  en chaque point).

**1.3.3 milieu thermiquement stable:** Milieu dans

lequel la conductivité thermique  $\lambda$  ou  $[\lambda]$  n'est pas fonction du temps, mais peut être fonction de la température et, le cas échéant, de la direction.

**1.3.4 conductivité thermique moyenne d'une éprouvette:** Propriété définie en régime stationnaire

dans un corps qui a la forme d'une plaque limitée par deux faces planes, parallèles et isothermes, et par des côtés perpendiculaires aux faces, adiabatiques, le corps étant constitué d'un matériau thermiquement homogène, isotrope (ou anisotrope avec un axe de symétrie perpendiculaire aux faces), stable dans les limites de précision d'un mesurage et le temps nécessaire à son exécution, et avec une

conductivité thermique  $\lambda$  ou  $[\lambda]$  constante ou fonction linéaire de la température.

**1.3.5 facteur de transfert d'une éprouvette:** Est défini par

$$\mathcal{F} = \frac{qd}{\Delta T} = \frac{d}{R} \text{ W(m} \cdot \text{K)}$$

Il dépend des conditions expérimentales et caractérise une éprouvette vis-à-vis du transfert de chaleur combiné par conduction et rayonnement. Il est souvent désigné par ailleurs sous le nom de conductivité thermique mesurée, équivalente, apparente ou effective d'une éprouvette.

**1.3.6 transmissivité thermique d'un matériau:** Est définie par

$$\lambda_t = \frac{\Delta d}{\Delta R} \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

quand  $\Delta d/\Delta R$  est indépendant de l'épaisseur  $d$ . Elle est indépendante des conditions expérimentales et caractérise un matériau isolant en relation avec le transfert de chaleur par conduction et rayonnement. La transmissivité thermique peut être considérée comme une limite du facteur de transfert pour des couches épaisses dans le cas d'un transfert de chaleur combiné par conduction et rayonnement. Elle est souvent désignée par ailleurs sous le nom de conductivité thermique mesurée, équivalente, apparente ou effective d'un matériau.

**1.3.7 propriété de transmission thermique en régime stationnaire:** Terme générique utilisé pour définir une des propriétés suivantes: résistance thermique, facteur de transfert, conductivité thermique, résistivité thermique, transmissivité thermique, conductance thermique, conductivité thermique

moyenne.

Les définitions suivantes relatives aux propriétés du matériau sont données dans l'ISO 9251:

- milieu poreux
- milieu homogène
- milieu poreux homogène
- milieu hétérogène
- milieu isotrope
- milieu anisotrope
- milieu stable

Autres termes qui ne sont pas définis dans l'ISO 7345 ou l'ISO 9251:

**1.3.1 milieu thermiquement homogène:** Milieu dans

lequel la conductivité thermique  $[\lambda]$  n'est pas fonction de la position du point considéré, mais qui peut être fonction de la direction, du temps et de la température.

**1.3.2 milieu thermiquement isotrope:** Milieu dans

lequel la conductivité thermique  $[\lambda]$  n'est pas fonction de la direction, mais peut être fonction de la position à l'intérieur du milieu, du temps et de la

**1.3.8 température de la pièce:** Terme générique utilisé pour définir des mesurages effectués à une température d'essai moyenne qui peut être considérée comme confortable pour l'homme.

**1.3.9 température ambiante:** Terme générique utilisé pour définir la température au voisinage des bords de l'éprouvette, ou au voisinage de l'appareil entier. Cette température est celle de l'enceinte contenant l'appareil ou celle du laboratoire, dans le cas d'un appareil non enfermé.

**1.3.10 opérateur:** Personne responsable de l'exécution de l'essai sur l'appareil à fluxmètre et de la

présentation par l'intermédiaire d'un rapport des résultats mesurés.

**1.3.11 utilisateur de données:** Personne impliquée dans l'application et l'interprétation des résultats mesurés en vue de juger la performance du matériau ou du système.

**1.3.12 concepteur:** Personne qui met au point les détails de construction d'un appareil afin de satisfaire les limites de performance prédéfinies pour l'appareil dans des conditions d'essai données et qui définit les procédures d'essais pour vérifier la précision prévue de l'appareil.

## 1.4 Symboles et unités

Symbole	Grandeur	Unité
$A$	Aire mesurée sur une surface isotherme donnée	$m^2$
$c_s$	Capacité thermique massique	$J/(kg \cdot K)$
$d$	Épaisseur de l'éprouvette mesurée selon un trajet perpendiculaire aux surfaces isothermes	$m$
$d, d''$	Épaisseur de chaque éprouvette dans la configuration de l'appareil à deux éprouvettes	$m$
$d_m$	Épaisseur moyenne d'une paire d'éprouvettes	$m$
$d_1, d_2, \dots, d_5$	Épaisseurs des éprouvettes notées $s_1, s_2, \dots, s_5$	$m$
$D_t$	Distance maximale admissible entre les surfaces utiles des éléments chauds et froids pendant l'essai	$m$
$e$	Force électromotrice délivrée par le fluxmètre	$mV$
$f$	Facteur d'étalonnage du fluxmètre	$W/(mV \cdot m^2)$
$L$	Longueur du côté du fluxmètre	$m$
$L_m$	Longueur du côté de la zone sensible du fluxmètre, ou zone de mesure	$m$
$m_c$	Variation relative de masse après le conditionnement	—
$m_d$	Variation relative de masse après le conditionnement après séchage	—
$m_r$	Variation relative de masse du matériau entre sa réception et son état sec produit par séchage	—
$m_w$	Variation relative de masse d'une éprouvette pendant l'essai	—
$M_1$	Masse du matériau à la réception	$kg$
$M_2$	Masse du matériau après séchage	$kg$
$M_3$	Masse du matériau après conditionnement	$kg$
$M_4$	Masse du matériau juste après l'essai	$kg$
$M_5$	Masse du matériau séché ou conditionné avant l'essai	$kg$
$q$	Densité de flux thermique	$W/m^2$
$q', q''$	Densité du flux thermique à travers chaque éprouvette d'une configuration d'appareil à deux éprouvettes	$W/m^2$
$r$	Résistivité thermique	$m \cdot K/W$
$r_{moy}$	Résistivité thermique moyenne dans une configuration d'appareil à deux éprouvettes	$m \cdot K/W$
$R$	Résistance thermique	$m^2 \cdot K/W$
$R_s$	Résistance thermique de l'éprouvette étalon	$m^2 \cdot K/W$
$R_u$	Résistance thermique de l'éprouvette inconnue	$m^2 \cdot K/W$
$R_t$	Résistance thermique totale dans une configuration d'appareil à deux éprouvettes	$m^2 \cdot K/W$
$s_1, s_2, \dots, s_5$	Série d'éprouvettes de différentes épaisseurs	—

Symbole	Grandeur	Unité
$\mathcal{J}$	Facteur de transfert d'une éprouvette	W/(m·K)
$T_m = (T_1 + T_2)/2$	Température moyenne	K
$T'_1, T''_1$	Températures des faces chaudes pour chaque éprouvette dans une configuration d'appareil à deux éprouvettes	K
$T'_2, T''_2$	Températures des faces froides pour chaque éprouvette dans une configuration d'appareil à deux éprouvettes	K
$T'_m$	Température moyenne de l'éprouvette (') dans une configuration d'appareil à deux éprouvettes	K
$T''_m$	Température moyenne de l'éprouvette (') dans une configuration d'appareil à deux éprouvettes	K
$V$	Volume	m <sup>3</sup>
$\Delta d$	Augmentation d'épaisseur	m
$\delta d = (d' - d'')/2$	Différence d'épaisseur entre les éprouvettes (') et (') dans une configuration d'appareil à deux éprouvettes	m
$\delta \lambda$	Écart de conductivité thermique à la température moyenne $T_m$ et températures moyennes des éprouvettes (') et (')	W/(m·K)
$\delta T_m = (T'_m - T''_m)/2$	Écart entre les températures des éprouvettes (') et (')	K
$\delta T = (\Delta T' - \Delta T'')/2$	Écart entre les différences de températures des éprouvettes (') et (')	K
$\Delta R$	Augmentation de résistance thermique	m <sup>2</sup> K/W
$\Delta T = T_1 - T_2$	Différence de température	K
$\Delta T', \Delta T''$	Différences de température pour chaque éprouvette (') et (') dans une configuration d'appareil à deux éprouvettes	K
$\frac{\Delta e}{\Delta q}$	Coefficient de sensibilité du fluxmètre	mV/(W·m <sup>2</sup> )
$\Phi$	Flux thermique	W
$\Phi_u$	Flux thermique à travers l'éprouvette inconnu	W
$\Phi_s$	Flux thermique à travers l'éprouvette étalon	W
$\lambda$	Conductivité thermique	W/(m·K)
$\lambda', \lambda''$	Conductivité thermique de chaque éprouvette (') et (') dans une configuration d'appareil à deux éprouvettes	W/(m·K)
$\dot{\lambda}(T)$	Dérivée de premier ordre par rapport à la température	W/(m·K <sup>2</sup> )
$\ddot{\lambda}(T)$	Dérivée du deuxième ordre par rapport à la température	W/(m·K <sup>3</sup> )
$\lambda_{\text{moy}}$	Conductivité thermique moyenne dans une configuration d'appareil à deux éprouvettes	W/(m·K)
$\lambda_m$	Conductivité thermique moyenne d'une éprouvette, ou conductivité thermique à la température moyenne $T_m$	W/(m·K)
$\lambda_M$	Conductivité thermique moyenne des éprouvettes (') et (') mesurée dans un appareil à plaque chaude gardée	W/(m·K)
$\lambda_t$	Transmissivité thermique d'un matériau	W/(m·K)
$\Lambda$	Conductance thermique	W/(m <sup>2</sup> ·K)
$\rho_d$	Masse volumique d'essai du matériau sec	kg/m <sup>3</sup>
$\rho_s$	Masse volumique d'essai du matériau qui a subi un conditionnement	kg/m <sup>3</sup>
$\rho \cdot c_s$	Produit entre la masse volumique du matériau et sa chaleur spécifique (chaleur volumique du matériau)	J/(m <sup>3</sup> ·K)
$\xi$	Porosité	—
$\xi_p$	Porosité locale	—
('), (')	Indices relatifs aux éprouvettes dans une configuration d'appareil à deux éprouvettes	—

## 1.5 Signification

### 1.5.1 Facteurs ayant une influence sur les propriétés de transmission thermique

Les propriétés de transmission thermique d'une éprouvette de matériau peuvent

- varier du fait de la variabilité de la composition des matériaux ou d'échantillon du matériau;
- être influencées par l'humidité ou d'autres facteurs;
- évoluer avec le temps;
- varier en fonction de la température moyenne;
- dépendre de l'histoire thermique.

Il est donc impératif d'admettre que le choix d'une valeur caractérisant les propriétés de transmission thermique comme étant représentatives d'un matériau dans une application particulière, doit être basé sur la prise en compte de ces facteurs et ne s'appliquera pas nécessairement à toutes les conditions de fonctionnement sans modifications préalables.

Par exemple, la présente méthode prévoit que les propriétés de transmission thermique doivent être obtenues sur des éprouvettes sèches, alors qu'il se peut qu'en fonctionnement, de telles conditions ne soient pas remplies.

Plus fondamentale encore est la dépendance des propriétés de transmission thermique vis-à-vis de variables comme la température moyenne et la différence de température. Ces influences devraient être évaluées par mesure, ou bien l'essai devrait être effectué dans des conditions représentatives de l'application de l'isolant.

### 1.5.2 Échantillonnage

Il faut adjoindre aux propriétés de transmission thermique un ensemble adéquat d'informations pour qu'on puisse les considérer comme représentatives d'un matériau. Une propriété de transmission thermique d'un matériau ne peut être déterminée par une seule mesure que si l'échantillon est représentatif du matériau et si l'éprouvette (ou les éprouvettes) est (sont) représentative(s) de l'échantillon.

La marche à suivre pour choisir l'échantillon devrait normalement figurer dans la spécification du matériau. Le choix d'une éprouvette dans l'échantillon peut être partiellement indiqué dans la spécification du matériau.

La question de l'échantillonnage allant au-delà de l'objet de la présente méthode d'essai, les documents appropriés doivent être pris en considération

chaque fois que le problème n'est pas couvert par les spécifications de matériaux.

### 1.5.3 Précision et reproductibilité

L'évaluation de la précision de la méthode est complexe et dépend de la conception de l'appareil, de l'instrumentation qui y est adjointe, et du type d'éprouvettes soumises à l'essai. La précision et l'étalonnage devrait dépendre du matériau de référence.

**1.5.3.1** La reproductibilité de mesures successives effectuées au moyen de l'appareil sur une éprouvette maintenue dans celui-ci sans modifications des conditions d'essai est normalement bien meilleure que 1 %. Quand des mesures sont effectuées sur la même éprouvette de référence sortie de l'appareil puis remise en place, à des intervalles de temps prolongés, la reproductibilité des mesures est normalement meilleure que  $\pm 1$  %. Cette valeur plus élevée est due aux légères différences des conditions d'essai comme la pression exercée par les plaques chaude et froide et le fluxmètre sur l'éprouvette (ce qui modifie les résistances de contact) et l'humidité relative de l'air environnant les éprouvettes (ce qui modifie leur teneur en humidité). Ces niveaux de reproductibilité sont nécessaires pour permettre la mise en évidence d'erreurs dans la méthode et sont souhaitables dans son application en contrôle de qualité.

**1.5.3.2** La précision de l'étalonnage de l'appareil à fluxmètre est normalement meilleure que  $\pm 2$  % quand la température moyenne de l'essai est proche de la température de la pièce.

La précision de l'étalonnage est essentiellement due à la précision de la méthode à plaque chaude gardée pour le mesurage des propriétés des éprouvettes de référence.

**1.5.3.3** En conséquence, cette méthode permet de déterminer les propriétés de transmission thermique à  $\pm 3$  % près quand la température moyenne de l'essai est proche de la température de la pièce.

### 1.5.4 Procédure d'étalonnage

L'une des deux procédures doit être suivie.

**1.5.4.1** L'appareil du laboratoire d'essai doit être étalonné (voir 2.4) moins de 24 h avant ou après l'essai en utilisant des éprouvettes de référence en provenance d'un laboratoire agréé pour les matériaux de référence. La stabilité des échantillons de référence dépend du type de matériau, certains matériaux de référence ont été utilisés avec succès pendant plus de 20 ans, mais il est suggéré de les vérifier au moins tous les 5 ans. L'essai et l'étalonnage de l'appareil doivent être réalisés en utilisant

à peu près les mêmes températures de faces chaude et froide que celles utilisées lors de l'étalonnage officiel des éprouvettes de référence.

**1.5.4.2** Lorsqu'il a été prouvé que les stabilités du fluxmètre à court et à long terme sont meilleures que  $\pm 1\%$ , il est permis d'étalonner l'appareil à fluxmètre à des intervalles moins rapprochés, par exemple une ou deux fois par mois. Le rapport d'essai de ces éprouvettes ne pourra être fait qu'après l'étalonnage suivant et à ce moment seulement si la modification subie lors de l'étalonnage par rapport au précédent est inférieure à  $1\%$ .

La moyenne des deux étalonnages doit être utilisée comme constante d'étalonnage et les éprouvettes doivent être essayées avec la valeur ainsi obtenue. Quand l'étalonnage varie de plus de  $\pm 1\%$ , les résultats d'essais pratiqués dans cette période, doivent être considérés comme nuls et les essais doivent être refaits conformément à 1.5.4.1.

## 1.6 Principe

**1.6.1** L'appareil à fluxmètre a pour rôle d'établir une densité de flux de chaleur uniforme et unidirectionnelle qui traverse simultanément la zone centrale de mesure d'un (ou de deux) fluxmètre(s) et la zone centrale d'une (ou de deux) éprouvette(s) en forme de plaques, aussi identiques(s) que possible, celles-ci étant dans des conditions de régime stationnaire caractérisées par une température moyenne constante et une différence de température constante entre un élément chaud et un élément froid bornant l'ensemble fourni par l'éprouvette (ou les éprouvettes) et le (ou les) fluxmètre(s).

**1.6.2** Il s'agit d'une méthode secondaire (ou relative) puisqu'on mesure le quotient de la résistance thermique d'une (ou de deux) éprouvette(s) par celle d'une éprouvette (ou de deux éprouvettes) étalon(s). La résistance thermique de l'éprouvette (ou des éprouvettes) étalon(s) doit impérativement être déterminée conformément à l'ISO 8302 relative à l'appareil à plaque chaude gardée.

**1.6.3** La condition idéale de densité de flux de chaleur unidirectionnelle ne peut être réalisée dans la totalité de la surface de l'éprouvette et du fluxmètre. Ceci implique d'accorder impérativement une attention spéciale aux points suivants:

- a) au problème des fuites thermiques par les bords de l'éprouvette (ou des éprouvettes) et du (ou des) fluxmètre(s);
- b) aux différences entre les propriétés géométriques (épaisseur) et thermiques de l'éprouvette

(ou des éprouvettes) étalon(s) d'une part et de l'éprouvette (ou des éprouvettes) à mesurer d'autre part;

- c) aux différences dans les conditions de température aux limites (si c'est le cas) lors de la détermination de la résistance thermique de l'éprouvette (ou des éprouvettes) étalon(s) dans l'appareil à plaque chaude gardée et lors de la procédure d'étalonnage de l'appareil à fluxmètre au moyen de cette (ou ces) éprouvette(s) étalon(s).

**1.6.4** À partir des résultats du mesurage du flux thermique  $\Phi_s$  avec l'éprouvette (ou les éprouvettes) étalon(s) et  $\Phi_u$  avec l'éprouvette (ou les éprouvettes) inconnue(s) à mesurer et en supposant constante la densité de flux thermique qui traverse la surface de mesure et stables la différence de température  $\Delta T$  et la température moyenne  $T_m$  on peut déduire le rapport entre la résistance thermique  $R_s$  de l'éprouvette (ou des éprouvettes) étalon(s) et la résistance thermique  $R_u$  de l'éprouvette (ou des éprouvettes) inconnue(s), comme suit:

$$\frac{R_u}{R_s} = \frac{\Phi_s}{\Phi_u}$$

d'où l'on déduit  $R_u$  par le calcul.

**1.6.5** La conductivité thermique de l'éprouvette (ou des éprouvettes) peut être également calculée si les conditions posées dans la définition sont remplies et si l'épaisseur  $d$  de l'éprouvette (ou des éprouvettes) est connue.

**1.6.6** La mise en œuvre de la méthode est limitée par l'aptitude de l'appareil à produire une densité de flux thermique constante et unidirectionnelle à travers des éprouvettes et par la précision dans la mesure de la température, de l'épaisseur, de la force électromotrice produite par le (ou les) fluxmètre(s), etc.

**1.6.7** Une autre série de limites tient aux éprouvettes puisque (dans le cas d'un appareil à deux éprouvettes) elles ne sont pas rigoureusement de la même épaisseur, et que leurs plus grandes surfaces ne sont jamais parfaitement planes, ni parfaitement parallèles.

## 1.7 Limitations dans l'utilisation de l'appareillage

L'utilisation de l'appareil est limitée par un certain nombre de facteurs liés à l'étalonnage et à l'épaisseur de l'éprouvette.

### 1.7.1 Limitations liées à l'étalonnage

L'appareil ne doit pas être utilisé à des températures autres que celles utilisées pour l'étalonnage. Si une courbe d'étalonnage a été établie pour un domaine de température, l'extrapolation est interdite.

Une attention particulière doit être apportée à l'utilisation de l'appareil à des épaisseurs autres que celles utilisées pour l'étalonnage. Cela est lié au type de matériau essayé, à l'épaisseur de l'éprouvette et à la différence de température pendant l'essai.

### 1.7.2 Limitations relatives à l'épaisseur de l'éprouvette (ou des éprouvettes)

#### 1.7.2.1 Généralités

L'épaisseur combinée de l'éprouvette (ou des éprouvettes), du (ou des) fluxmètre(s) et d'un éventuel matériau isolant thermique, dont la totalité représente la distance entre les surfaces de l'élément chaud et de l'élément froid doit impérativement être bornée, en vue de limiter l'influence des pertes latérales sur la mesure de flux thermique. On doit choisir une limite géométrique qui corresponde à celle d'une éprouvette utilisée dans l'appareil à plaque chaude gardée, pour laquelle les pertes latérales ont été évaluées (voir 1.7.2.2). Les pertes latérales sont influencées par l'isolation latérale et la température de l'environnement de l'éprouvette.

#### 1.7.2.2 Écartement maximal entre les surfaces actives chaude et froide

La distance maximale autorisée,  $D_t$ , entre les surfaces chaude et froide au cours de l'essai, dépend de la longueur latérale du fluxmètre,  $L$ , de la longueur de la zone sensible ( $L - L_m$ ) ainsi que de la façon dont le fluxmètre est construit et des propriétés de l'éprouvette (ou des éprouvettes) d'essai. Aucune analyse théorique n'est disponible pour prévoir l'épaisseur maximale admissible pour les éprouvettes. Il est nécessaire d'utiliser comme guide les résultats de l'analyse relative à la plaque chaude gardée.

Les références [19] et [23] relatives à l'analyse de la plaque chaude gardée, et l'annexe C peuvent fournir certains éléments pour cette évaluation.

Dans la configuration symétrique à une éprouvette (voir 2.1 et figure 1), la valeur maximale de l'épaisseur de l'éprouvette est supérieure de 50 % à celle correspondant à la configuration symétrique à deux éprouvettes.

Si l'épaisseur de l'éprouvette dépasse les limites de l'appareil, les essais devront être effectués en

utilisant un appareil à plaques plus grandes ou avec la boîte chaude gardée.

#### 1.7.2.3 Épaisseur minimale

L'épaisseur minimale de l'éprouvette est liée aux résistances de contact mentionnées en 1.7.3. Quand la conductivité (ou la résistivité) thermique est exigée, l'épaisseur minimale de l'éprouvette est également limitée par la précision de l'instrumentation destinée au mesurage de l'épaisseur.

### 1.7.3 Limitations dues aux résistances de contact

Lorsqu'on effectue l'essai sur une (ou des) éprouvette(s) rigide(s), c'est-à-dire en un matériau trop dur et dont la forme ne peut être modifiée de façon appréciable par la pression des éléments chaud et froid, des irrégularités des surfaces — même petites — de l'éprouvette et de l'appareil (surfaces imparfaitement planes) introduisent des résistances de contact réparties non uniformément entre l'éprouvette (ou les éprouvettes) et les surfaces actives des éléments chaud et froid ainsi que du (ou des) fluxmètre(s).

Ces résistances entraîneront une répartition non uniforme du flux thermique et des distorsions du champ thermique à l'intérieur des éprouvettes; en outre, elles rendent les mesurages des températures de surface difficiles à réaliser sans recours à des techniques spéciales.

## 1.8 Limitations dues aux éprouvettes

### 1.8.1 Résistance thermique, conductance thermique ou facteur de transfert

#### 1.8.1.1 Homogénéité des éprouvettes

Lorsqu'on effectue des mesurages de la résistance (ou conductance) thermique d'éprouvettes non homogènes, il se peut que la densité de flux thermique, à la fois à l'intérieur de l'éprouvette et sur les faces de la zone de mesure de l'appareil ne soit ni unidirectionnelle, ni constante. Des distorsions du champ thermique existeront dans l'éprouvette et pourront entraîner de sérieuses erreurs. La région de l'éprouvette contiguë à la zone de mesure, et particulièrement celle près des bords de cette zone, est la plus critique. Il est difficile de donner des instructions sûres en ce qui concerne les possibilités d'application de la méthode dans de tels cas. Le risque principal est que les erreurs dues aux fuites thermiques latérales, les erreurs dues à une distribution de température non uniforme dans le fluxmètre, etc., imprévisibles dans cette situation, peuvent varier de façon imprévisible lorsque des non-homogénéités occupent des positions relatives différentes à l'intérieur de l'éprouvette. Le résultat