

---

---

**Détermination de la conductivité  
thermique apparente des matériaux  
de construction poreux et mouillés  
par une méthode périodique**

*Measurement of apparent thermal conductivity of wet porous  
building materials by a periodic method*

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

[ISO 16957:2016](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f98a07b5-5ef4-4238-83d4-1a3782534b36/iso-16957-2016)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f98a07b5-5ef4-4238-83d4-1a3782534b36/iso-16957-2016>



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

ISO 16957:2016

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f98a07b5-5ef4-4238-83d4-1a3782534b36/iso-16957-2016>



**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2016, Publié en Suisse

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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, l'affichage sur l'internet ou sur un Intranet, sans autorisation écrite préalable. Les demandes d'autorisation peuvent être adressées à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office  
Ch. de Blandonnet 8 • CP 401  
CH-1214 Vernier, Geneva, Switzerland  
Tel. +41 22 749 01 11  
Fax +41 22 749 09 47  
copyright@iso.org  
www.iso.org

## Sommaire

Page

<b>Avant-propos</b> .....	<b>iv</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>v</b>
<b>1</b> <b>Domaine d'application</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b> <b>Références normatives</b> .....	<b>1</b>
<b>3</b> <b>Termes et définitions</b> .....	<b>1</b>
<b>4</b> <b>Symboles et unités</b> .....	<b>2</b>
<b>5</b> <b>Détermination de la conductivité thermique d'un matériau poreux humide par la méthode non stationnaire (méthode périodique)</b> .....	<b>3</b>
<b>6</b> <b>Mesurage par la méthode périodique</b> .....	<b>3</b>
6.1    Mode opératoire d'essai.....	3
6.2    Appareillage de mesure.....	4
6.2.1    Conception globale.....	4
6.2.2    Générateur de l'onde électrique sinusoïdale ou progressive.....	5
6.2.3    Réchauffeur.....	5
6.2.4    Éprouvette.....	5
6.3    Préparation et préconditionnement de l'éprouvette.....	6
6.3.1    Teneur en humidité uniforme initiale et surfaces (limites) adiabatiques et imperméables.....	6
6.3.2    Insertion et position des thermocouples.....	6
6.4    Détermination de la diffusivité thermique à partir des températures mesurées (voir <a href="#">Annexe B</a> ).....	6
6.4.1    Solution pour un flux de chaleur sans humidité.....	6
6.4.2    Solution pour un flux de chaleur avec humidité.....	7
6.5    Estimation de l'incertitude de mesure due au déplacement de l'humidité (vapeur).....	7
6.6    Conductivité thermique.....	8
<b>7</b> <b>Rapport d'essai</b> .....	<b>8</b>
<b>Annexe A (informative) Aspects théoriques</b> .....	<b>10</b>
<b>Annexe B (informative) Détermination de la conductivité thermique à partir des températures mesurées</b> .....	<b>12</b>
<b>Annexe C (informative) Exemple de mesurage à l'aide de la méthode périodique</b> .....	<b>18</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>21</b>

## 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 (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir [www.iso.org/directives](http://www.iso.org/directives)).

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir [www.iso.org/brevets](http://www.iso.org/brevets)).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

(standards.iteh.ai)

Pour une explication de la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC) voir le lien suivant: [www.iso.org/iso/fr/foreword.html](http://www.iso.org/iso/fr/foreword.html).

Le comité chargé de l'élaboration du présent document est l'ISO/TC 163, *Performance thermique et utilisation de l'énergie en environnement bâti*, sous-comité SC 1, *Méthodes d'essais et de mesurage*.

## Introduction

La plupart des matériaux de construction, à l'exception du verre et des métaux, sont poreux et par conséquent, absorbent l'humidité due à la condensation, à la pluie et l'absorption de l'eau souterraine. L'humidité absorbée peut endommager les matériaux, par exemple en raison des dégâts dus au pourrissement ou au gel et, par conséquent, entraîner une détérioration de leur performance. En particulier, une augmentation de la teneur en humidité d'un matériau isolant entraîne une réduction de sa résistance thermique, ce phénomène devant être évité autant que possible pour préserver la performance du matériau. Toutefois, il est très difficile d'empêcher l'infiltration d'eau de pluie dans un mur en briques ou dans des joints de tuiles et l'absorption d'eau souterraine dans la fondation (semelle). Par conséquent, il est important de comprendre les variations des propriétés thermiques (conductivité thermique et puissance calorifique) des matériaux poreux dues aux variations de leur teneur en humidité.

L'ISO 10051 spécifie une méthode stationnaire pour le mesurage de la conductivité thermique d'un matériau de construction humide. Dans la méthode stationnaire, une répartition non uniforme de la teneur en humidité dans l'éprouvette est inévitable car le gradient de température imposé entraîne un transfert d'humidité. En raison de la répartition non uniforme de l'humidité, il est difficile de définir la teneur en humidité à laquelle correspond la conductivité thermique mesurée. L'ISO 10051 classe la répartition de l'humidité dans l'éprouvette en plusieurs types et estime la conductivité thermique correspondant à chaque type.

Grâce aux études théoriques et expérimentales réalisées récemment à propos du transfert de chaleur et d'humidité dans les matériaux poreux (voir les Références [5], [7], [8], [9] et [10]), ainsi qu'aux mesurages et à la constitution d'une base de données des propriétés hygrothermiques (voir la Référence [6]), il est à présent possible de prévoir le comportement hygrothermique avec une exactitude raisonnable.

La présente Norme internationale décrit une méthode transitoire pour le mesurage de la conductivité thermique d'un matériau de construction poreux humide et une méthode d'évaluation de l'incertitude de mesure, sur la base des développements théoriques concernant le transfert de chaleur et de masse et de la constitution de la base de données des propriétés hygrothermiques. L'évaluation de l'incertitude de mesure permet d'employer une méthode simple et pratique de mesurage de la conductivité thermique.

**NOTE** La conductivité thermique constitue l'une des propriétés hygrothermiques nécessaires. Dans la mesure où les transferts de chaleur et de masse dans un matériau poreux interagissent entre eux, une valeur exacte de la conductivité thermique doit être fournie afin d'examiner la validité des modèles théoriques. Ainsi, pour être plus précis, les modèles théoriques mentionnés ci-dessus n'ont pas été validés et la construction du modèle et le mesurage des propriétés hygrothermiques doivent être effectués en parallèle. Toutefois, il semble raisonnable de s'attendre à ce qu'un mesurage de la conductivité thermique avec une exactitude admissible puisse être effectué à l'aide d'une méthode appropriée. Cela constitue la base du présent document.

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

ISO 16957:2016

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f98a07b5-5ef4-4238-83d4-1a3782534b36/iso-16957-2016>

# Détermination de la conductivité thermique apparente des matériaux de construction poreux et mouillés par une méthode périodique

## 1 Domaine d'application

La présente Norme internationale décrit une méthode de mesure de la conductivité thermique (diffusivité) d'un matériau de construction poreux humide et une méthode d'évaluation de l'incertitude de mesure.

Bien que l'ISO 10051 soit la Norme internationale actuelle, fondée sur une méthode stationnaire, la présente Norme internationale propose une méthode non stationnaire (transitoire) qui utilise, comme entrée, une légère variation de température de courte durée. En plus du mesurage, la présente Norme internationale décrit une évaluation de l'incertitude de mesure qui permet de mettre en œuvre une méthode de mesure simple et pratique.

Le but de la présente Norme internationale est de mesurer la conductivité thermique apparente (effective), y compris le transfert de chaleur latente dû au déplacement de la vapeur. Elle exclut la situation dans laquelle se produit un déplacement de l'humidité et/ou de l'air par convection ou par gravité. L'application de la présente Norme internationale à des teneurs élevées en humidité est exclue de sorte que l'effet de la gravité puisse être négligé. La présente Norme internationale peut être appliquée à un matériau poreux d'une masse volumique supérieure à environ 100 kg/m<sup>3</sup>, dans lequel le transfert thermique radiatif peut être négligé.

La présente Norme internationale spécifie ce qui suit:

- une méthode non stationnaire de mesurage de la conductivité thermique;
- une formule d'approximation pour l'incertitude de mesure due au déplacement de l'humidité et à la répartition non uniforme de l'humidité (et donc une détermination des conditions de mesurage qui respectent la limite supérieure de l'incertitude de mesure);
- une estimation du transfert de chaleur dû au déplacement d'humidité (vapeur).

## 2 Références normatives

Les documents ci-après, dans leur intégralité ou non, sont des références normatives indispensables à l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

Il n'y a aucune référence normative dans le présent document.

## 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 9346, dans l'ISO 10051 ainsi que les suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

**3.1 conductivité thermique apparente d'un matériau humide**  
 $\lambda^*$

propriété intrinsèque d'un matériau, qui dépend de la teneur en humidité et de la température, mais pas des conditions d'essai

Note 1 à l'article: Dans la mesure où la valeur inclut l'influence du transfert de chaleur dû au changement de phase (condensation et évaporation), elle est désignée par le terme «conductivité thermique apparente».

**4 Symboles et unités**

Symbole	Grandeur	Unités
$A$	diffusivité thermique du matériau	$m^2/s$
$A, B, C, D$	définies dans la <a href="#">Formule (B.14)</a>	—
$c$	porosité	$m^3/m^3$
$c'$	chaleur spécifique du matériau	$J/(kg \cdot K)$
$c_s$	chaleur spécifique du matériau sec	$J/(kg \cdot K)$
$D_T$	conductivité de l'humidité (vapeur d'eau et eau liquide) liée au gradient de température	$kg/(m \cdot s \cdot K)$
$D_\theta$	conductivité de l'humidité (vapeur d'eau et eau liquide) liée au gradient de teneur en eau	$m^2/s$
$D_{Tl}$	conductivité de l'eau liquide liée au gradient de température	$kg/(m \cdot s \cdot K)$
$D_{\theta l}$	conductivité de l'eau liquide liée au gradient de teneur en eau	$m^2/s$
$D_{Tv}$	conductivité de la vapeur liée au gradient de température	$kg/(m \cdot s \cdot K)$
$D_{\theta v}$	conductivité de la vapeur liée au gradient de teneur en eau	$m^2/s$
$E, E_1, E_2$	définies dans la <a href="#">Formule (B.12)</a>	—
$I_0$	amplitude de la température de surface d'entrée	K
$k_v$	diffusivité de la vapeur	$kg/[m \cdot s \cdot (kg/kg)']$
$R$	chaleur latente de vaporisation	J/kg
$S$	aire massique (surface spécifique) à l'intérieur du matériau, c'est-à-dire rapport de l'aire des pores au volume du matériau	$m^2/m^3$
$t$	temps	s
$T$	température	K
$T_0$	température initiale	K
$T_1, T_2, \theta_1, \theta_2$	Les premier et second termes de la solution de perturbation de la température et de la teneur en eau respectivement	K, $kg/m^3$
$x$	coordonnée	m
$X$	rapport d'humidité de l'air humide dans les pores de l'éprouvette	$kg/kg'$
$X_i$	rapport d'humidité d'équilibre avec l'eau liquide ou l'eau capillaire à l'interface dans le matériau	$kg/kg'$
$U_3, U_7, Q_1 - Q_6, R_1 - R_6, V_{18}$	coefficients $\theta_2$ et $T_2$ apparaissant dans les solutions	—
$\alpha_1, \alpha_2$	définies dans la <a href="#">Formule (B.13)</a>	—
$\alpha'$	coefficient de transfert effectif de vapeur à l'interface	$kg/(m \cdot s \cdot kg)/kg'$
$\gamma$	poids spécifique de l'air sec	$kg/m^3$
$\gamma'$	masse volumique du matériau	$kg/m^3$
$\gamma_s$	masse volumique du matériau sec	$kg/m^3$
$\eta_1, \zeta_1, \beta_1, \xi_1, \kappa_1, \gamma_1$	coefficients de teneur en eau de $D_{\theta l}, D_{\theta v}, D_{Tl}, D_{Tv}, c', \gamma', \lambda$	—
$\eta_2, \zeta_2, \beta_2, \xi_2, \gamma_2$	coefficients de température de $D_{\theta l}, D_{\theta v}, D_{Tl}, D_{Tv}, \lambda$	—
$\lambda$	conductivité thermique sans déplacement d'humidité	$W/(m \cdot K)$



Symbole	Grandeur	Unités
$\lambda^*$	conductivité thermique définie comme $\lambda^* = \lambda + RD_{TV}$	W/(m·K)
$\theta$	teneur en eau du matériau	kg/m <sup>3</sup>
$\theta_0$	teneur en eau initiale du matériau	kg/m <sup>3</sup>
$\theta_0$	teneur en eau massique	%
$\omega$	vitesse angulaire de la température de surface d'entrée	rad/s

## 5 Détermination de la conductivité thermique d'un matériau poreux humide par la méthode non stationnaire (méthode périodique)

Lors du mesurage de la conductivité thermique d'un matériau poreux dans lequel un transfert d'humidité est susceptible de se produire, la non-uniformité de la répartition de la teneur en eau doit être maintenue aussi faible que possible sous le gradient de température. Afin de réduire autant que possible la non-uniformité, une méthode périodique est adoptée en tant que méthode transitoire de mesurage de la conductivité thermique (voir l'exemple dans l'[Annexe C](#)). Dans la mesure où des gradients de température négatifs et positifs sont générés à tour de rôle dans cette méthode, on peut s'attendre à ce que la répartition de la teneur en eau (moyennée dans le temps) reste uniforme.

En mesurant les températures en deux points dans l'échantillon (en général, un de ces points se situe à la surface de l'échantillon), la diffusivité thermique (mais pas la conductivité) peut être déterminée sur la base du rapport d'amplitude ou de la différence de phase de ces deux températures. Si un mouvement d'humidité se produit, une méthode similaire peut être utilisée pour déterminer la diffusivité thermique si la fluctuation de température cyclique d'entrée est maintenue à un niveau suffisamment bas pour que la variation des propriétés de transmission soit également faible et qu'elle permette de considérer que le système est linéaire (voir [Annexe B](#)).

## 6 Mesurage par la méthode périodique

### 6.1 Mode opératoire d'essai

Une représentation schématique de l'appareillage utilisé pour la méthode périodique est donnée à la [Figure 1](#). L'ensemble du système est installé dans une enceinte climatique dont la température est maintenue égale à la température moyenne de l'échantillon mesuré. L'échantillon est préconditionné à une certaine teneur en eau, puis toute la surface est rendue imperméable au déplacement de l'humidité. L'échantillon est soumis à une variation de température périodique et les températures en (au moins) deux points dans l'échantillon sont mesurées par des thermocouples.

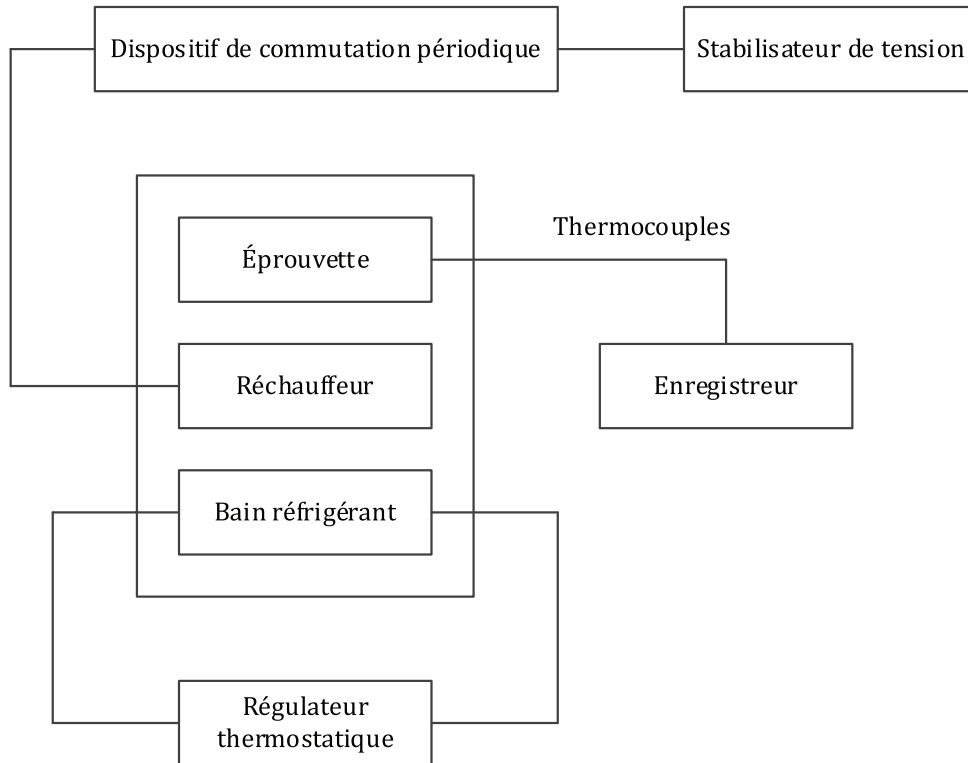


Figure 1 — Représentation schématique du montage utilisé pour le mesurage de la diffusivité thermique

iTeh STANDARD PREVIEW  
standards.iteh.ai

ISO 16957:2016

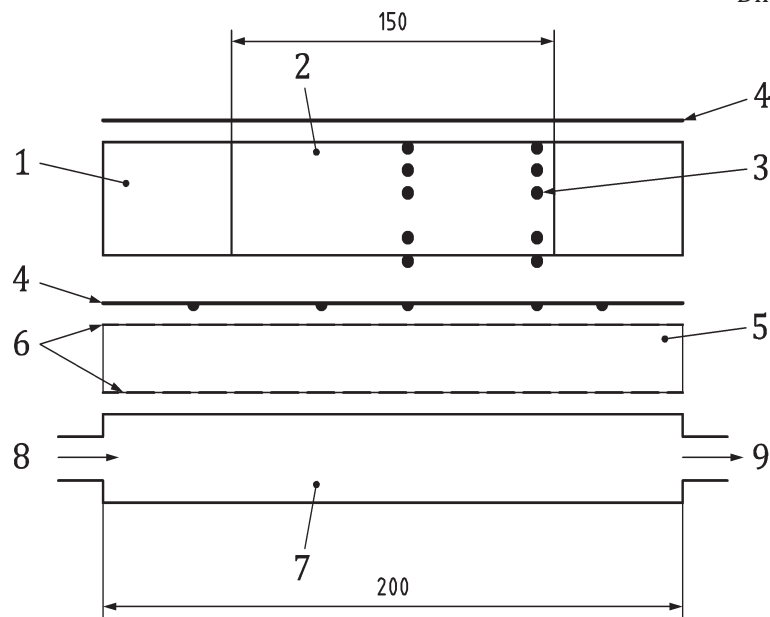
## 6.2 Appareillage de mesure

standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f98a07b5-5ef4-4238-83d4-1a3782534b36/iso-16957-2016

### 6.2.1 Conception globale

Une représentation schématique détaillée de l'appareillage de mesure est donnée à la [Figure 2](#). Le réfrigérant, maintenu à une basse température constante, circule dans un bain réfrigérant métallique [200 mm (longueur) × 200 mm (largeur) × 50mm (hauteur)] pour éviter une augmentation de la température due au réchauffeur. Un réchauffeur, une couche d'amortissement et un échantillon sont placés sur le bain réfrigérant dans cet ordre, et une autre couche d'amortissement est placée sur l'échantillon pour réduire l'influence des fluctuations de température de l'enceinte climatique entourant l'appareillage de mesure. Un courant électrique sinusoïdal ou progressif est généré dans le réchauffeur. L'onde progressive devient presque sinusoïdale à mesure que le courant s'écoule à travers les couches d'amortissement avant d'atteindre la surface de l'échantillon. Les thermocouples sont insérés dans l'échantillon et reliés aux enregistreurs. La valeur de sortie fournie par les thermocouples est enregistrée à la fois dans un enregistreur analogique et un enregistreur numérique. L'enregistreur numérique est utilisé pour un enregistrement à long terme des températures en des points multiples, alors que l'enregistreur analogique est utilisé pour enregistrer l'onde thermique lors d'un mesurage de courte durée.

Dimensions en millimètres

**Légende**

- |   |                            |   |                       |
|---|----------------------------|---|-----------------------|
| 1 | matériau isolant thermique | 6 | plaques de cuivre     |
| 2 | échantillon                | 7 | bain réfrigérant      |
| 3 | thermocouple               | 8 | entrée du réfrigérant |
| 4 | couche de caoutchouc       | 9 | sortie du réfrigérant |
| 5 | réchauffeur                |   |                       |

iTech STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)  
ISO 16957:2016  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f98a07b5-5ef4-4238-83d4-182224000000>

**Figure 2 — Vue en coupe verticale de l'appareillage**

**6.2.2 Générateur de l'onde électrique sinusoïdale ou progressive**

Une onde électrique sinusoïdale est produite par un générateur d'ondes arbitraires, puis transmise au réchauffeur. Si un tel appareillage n'est pas disponible, une onde électrique progressive cyclique est générée puis transmise au réchauffeur par commutation (marche/arrêt) d'un courant électrique constant à l'aide d'un relais. Une commutation (marche/arrêt) cyclique du relais peut être réalisée à l'aide de deux temporisateurs.

**6.2.3 Réchauffeur**

La surface inférieure de l'échantillon est chauffée de façon uniforme (avec une variation cyclique) par un réchauffeur. Le bain réfrigérant situé sous l'échantillon sert à réduire toute augmentation de la température moyenne de l'échantillon due au chauffage et à maintenir la température moyenne requise.

**6.2.4 Échantillon**

Il convient que la taille de l'échantillon soit conforme à l'exigence énoncée dans l'ISO 10456 pour le mesurage de la conductivité thermique, c'est-à-dire 150 mm × 150 mm. Toutefois, il convient que l'échantillon soit suffisamment épais pour que l'amplitude de la variation de la température arrivant au niveau de la surface supérieure de l'échantillon devienne presque égale à 0. Il convient que les surfaces (limites) de l'échantillon soient rendues imperméables à l'humidité par une barrière à eau adaptée et adiabatiques par un matériau isolant thermique.