
**Isolation thermique — Méthode
d’essai pour la diffusivité thermique
— Méthode de chauffage périodique**

*Thermal insulation — Test method for thermal diffusivity — Periodic
heat method*

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 21901:2021](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/fa505272-5f19-4c64-954e-f4db22087cf6/iso-21901-2021)

[https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/fa505272-5f19-4c64-954e-
f4db22087cf6/iso-21901-2021](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/fa505272-5f19-4c64-954e-f4db22087cf6/iso-21901-2021)



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 21901:2021

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/fa505272-5f19-4c64-954e-f4db22087cfe/iso-21901-2021>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2021

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en œuvre, 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, ou la diffusion sur l'internet ou sur un intranet, sans autorisation écrite préalable. Une autorisation peut être demandée à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office

Case postale 401 • Ch. de Blandonnet 8

CH-1214 Vernier, Genève

Tél.: +41 22 749 01 11

E-mail: copyright@iso.org

Web: www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos	iv
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Symboles	3
5 Principe	3
5.1 Généralités.....	3
5.2 Calcul de la diffusivité thermique.....	4
6 Éprouvette	6
6.1 Échantillon.....	6
6.2 Caractéristiques détaillées de l'éprouvette.....	7
6.3 Usinage de l'éprouvette.....	7
6.3.1 En cas d'utilisation de deux éprouvettes.....	7
6.3.2 En cas d'utilisation d'une seule éprouvette.....	8
7 Appareillage	9
7.1 Généralités.....	9
7.2 Instrument de mesure de la température.....	9
8 Mode opératoire	10
8.1 Arrondi des nombres.....	10
8.2 Période de variation de la température.....	10
8.3 Amplitude de variation de la température.....	10
8.4 Méthode de mesure.....	10
8.5 Calcul de la diffusivité thermique.....	11
8.6 Calcul de la conductivité thermique.....	11
9 Rapport d'essai	11
Annexe A (normative) Taille de l'éprouvette et période de variation de la température	12
Annexe B (informative) Considérations relatives au mesurage	15
Bibliographie	16

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).

L'attention est attirée 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).

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.

Pour une explication de la nature volontaire des normes, 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 www.iso.org/avant-propos.

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 163, *Performance thermique et utilisation de l'énergie en environnement bâti*, sous-comité SC 1, *Méthodes d'essais et de mesurage*.

Il convient que l'utilisateur adresse tout retour d'information ou toute question concernant le présent document à l'organisme national de normalisation de son pays. Une liste exhaustive desdits organismes se trouve à l'adresse www.iso.org/fr/members.html.

Isolation thermique — Méthode d'essai pour la diffusivité thermique — Méthode de chauffage périodique

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie une méthode de chauffage périodique pour mesurer la diffusivité thermique des matériaux isolants thermiques sous forme de plaque plane.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences 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).

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

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions 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:

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

3.1

phase

grandeur qui représente l'état d'avancement au cours d'une *période* (3.5) de mouvement ondulatoire et autre phénomène périodique

EXEMPLE $\omega t + \varphi_1$ correspond à la phase dans $y = A \sin(\omega t + \varphi_1)$.

3.2

déphasage

différence entre deux *phases* (3.1) résultant de variations périodiques de la température mesurées en deux points différents sur la surface et à l'intérieur d'une éprouvette

EXEMPLE Lorsque les variations périodiques de la température 1 et 2 sont données par $y_1 = A_1 \sin(\omega t + \varphi_1)$ et $y_2 = A_2 \sin(\omega t + \varphi_2)$, respectivement, le déphasage entre elles est $\varphi_2 - \varphi_1$.

3.3

amplitude

moitié de la différence entre les valeurs maximale et minimale de la quantité de déplacement au cours d'une variation périodique de la température

EXEMPLE Dans une onde sinusoïdale donnée par $A \sin(\omega t + \varphi)$ ou $A \exp[i(\omega t + \varphi)]$, A fait référence à l'amplitude.

3.4

rapport d'amplitude

rapport de deux *amplitudes* (3.3) résultant de variations périodiques de la température mesurées en un point quelconque sur la surface et à l'intérieur d'une éprouvette

EXEMPLE Lorsque les variations périodiques de la température y_1 sur la surface et y_2 à l'intérieur de l'éprouvette sont données par $y_1 = A_1 \sin(\omega t + \varphi_1)$ et $y_2 = A_2 \sin(\omega t + \varphi_2)$, respectivement, le rapport d'amplitude entre les deux amplitudes est A_2/A_1 .

3.5

période

intervalle de reproduction d'un phénomène périodique (ou d'une fonction périodique)

Note 1 à l'article: Lorsque l'intervalle de temps est constant, la période f est donnée par $f = 1/\nu = 2\pi/\omega$, où ν est la *fréquence* (3.6) et ω est la *fréquence angulaire* (3.7).

3.6

fréquence

nombre de répétitions du même état dans un intervalle de temps donné d'un phénomène périodique temporel quelconque

Note 1 à l'article: Elle est exprimée par $\nu = 1/f$, où f est la *période* (3.5).

3.7

fréquence angulaire

angle de rotation par seconde

Note 1 à l'article: La fréquence angulaire est obtenue en multipliant la *fréquence* (3.6) ν par 2π ($2\pi\nu$) ou en multipliant l'inverse de la *période* (3.5) f par 2π ($2\pi/f$).

ISO 21901:2021
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/fa505272-5f19-4c64-954e-f4db22087cfe/iso-21901-2021>

4 Symboles

Les symboles utilisés dans le présent document sont indiqués dans le [Tableau 1](#).

Tableau 1 — Symboles

Symbole	Grandeur	Unité
a	Diffusivité thermique	m ² /s
c	Capacité thermique spécifique	J/(kg · K)
D	Différence	%
d	Épaisseur de l'éprouvette (épaisseur totale des deux éprouvettes en cas d'utilisation de deux éprouvettes empilées pour un mesurage)	m
f	Période	s
i	Unité imaginaire	-
k	Coefficient d'amortissement	1/m
L	Longueur d'un côté de l'éprouvette	m
l	Distance par rapport à la surface de chauffage périodique ($d - x_m$)	m
m	Masse avant de mesurer la diffusivité thermique (avant rainurage)	kg
T	Température absolue	K
V	Volume avant de mesurer la diffusivité thermique (avant rainurage)	m ³
x	Coordonnée x	m
x_m	Emplacement d'un point de mesure de la température à l'intérieur d'une éprouvette	m
ε	Déphasage sur une surface $x = 0$	rad
η	Phase arbitraire	rad
θ	Température	°C
λ	Conductivité thermique	W/(m·K)
ν	Fréquence	1/s
π	Constante circulaire	-
ρ	Masse volumique, masse volumique apparente	kg/m ³
φ	Déphasage sur une section $x = x_m$	rad
ω	Fréquence angulaire	1/s

5 Principe

5.1 Généralités

La méthode de chauffage périodique est une méthode qui permet d'obtenir la diffusivité thermique en mesurant la température en deux points différents d'une éprouvette. La diffusivité thermique est évaluée au moyen du déphasage entre deux phases obtenues en faisant varier périodiquement la température sur une surface latérale de l'éprouvette. Ici, ces températures sont mesurées en un point quelconque sur la surface chauffante et à l'intérieur (plan interne perpendiculaire à la direction de diffusion thermique) de l'éprouvette.

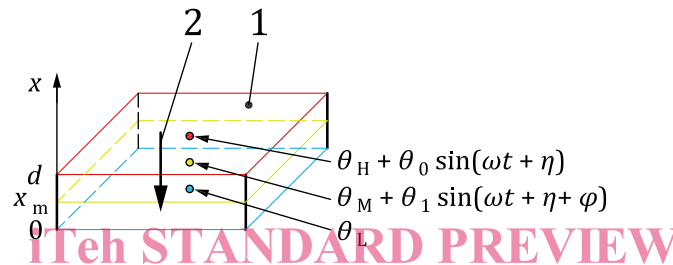
Cette méthode de mesure utilise une solution de l'équation de la conduction thermique qui est obtenue à condition que la température sur un côté de l'éprouvette varie selon une fonction trigonométrique du temps et que la variation se propage dans une direction unidimensionnelle et, qu'en outre, la température sur le côté opposé soit maintenue constante.

La variation périodique de la température sur la surface chauffée doit être exprimée par une fonction trigonométrique du temps.

Il est contraire au principe de mesure de générer une variation déformée de la température sur la surface chauffée. En outre, en réalité, la forme d'onde varie facilement en cas de variation déformée de la température pendant la propagation dans une éprouvette et cela devient une source d'erreurs de mesure.

5.2 Calcul de la diffusivité thermique

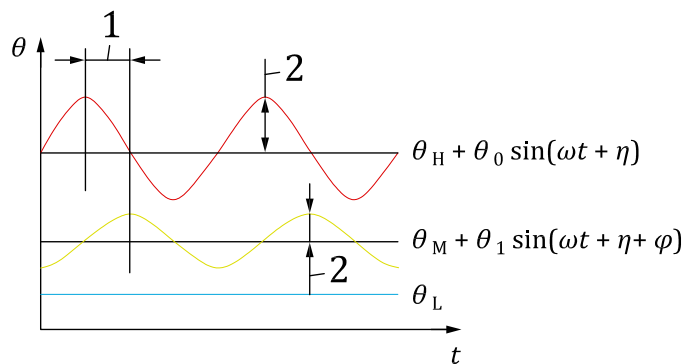
Comme illustré sur la [Figure 1](#), l'axe des abscisses est l'axe vertical vers le haut le long de la direction de l'épaisseur d'une éprouvette, et la surface de dissipation de chaleur (la surface en contact avec l'élément chauffant du côté basse température) de l'éprouvette d'une épaisseur d est prise comme origine, tandis que la surface chauffante est prise à $x = d$. Par conséquent, comme le montre la flèche épaisse, la chaleur circule vers le bas, de la surface chauffante jusqu'à la surface de dissipation de chaleur. La température est maintenue constante sur la surface de dissipation de chaleur, tandis que la température de la surface chauffante est modifiée périodiquement selon la formule $\theta_H + \theta_0 \sin(\omega t + \eta)$. Dans ces conditions, le déphasage (rad) entre le point situé à $x = d$ et un point arbitraire situé à $x = x_m$ est obtenu en résolvant l'équation de la conduction thermique unidimensionnelle. On obtient donc la [Formule \(1\)](#) (voir la [Figure 2](#)).



Légende

- 1 éprouvette
- 2 flux thermique

ISO 21901:2021
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/fa505272-5f19-4c64-954e-4d622087cc/iso-21901-2021>
Figure 1 — Relation entre l'éprouvette et la coordonnée (flux thermique unidimensionnel, dans le cas où θ_L est maintenue constante)



Légende

- 1 déphasage
- 2 amplitude

Figure 2 — Variation périodique de la température, dans le cas où θ_L est maintenue constante

$$\varphi = \arg \left\{ \frac{\sinh kx_m (1+i)}{\sinh kd(1+i)} \right\} \quad (1)$$

Le coefficient d'amortissement k de la [Formule \(1\)](#) est défini par la [Formule \(2\)](#).

$$k = \sqrt{\frac{\omega}{2a}} \quad (2)$$

De plus, la fréquence angulaire ω est définie par la [Formule \(3\)](#).

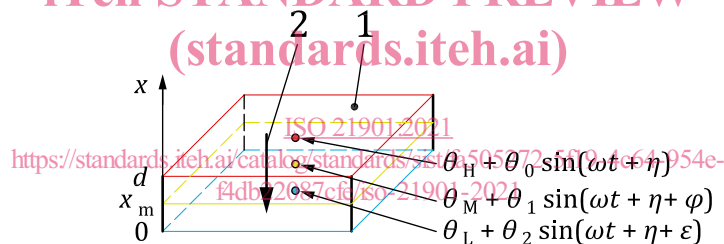
$$\omega = \frac{2\pi}{f} \quad (3)$$

À ce moment-là, la température moyenne d'une éprouvette θ_S est calculée à l'aide de la [Formule \(4\)](#).

$$\theta_S = (\theta_H + \theta_L) / 2 \quad (4)$$

Lorsque la [Formule \(1\)](#) est utilisée, la température de surface sur le côté basse température d'une éprouvette doit toujours être régulée de manière qu'elle reste constante.

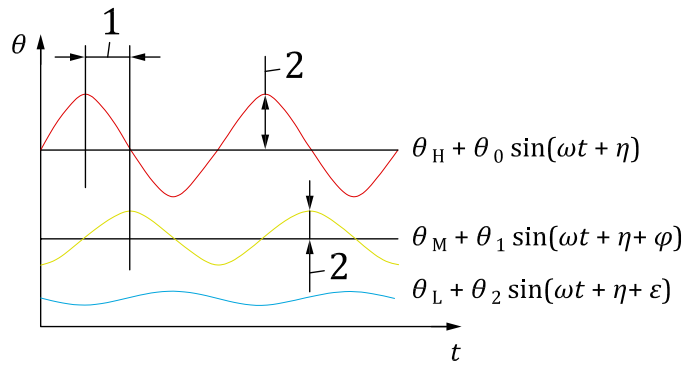
Si la température varie périodiquement sur le côté basse température, comme décrit sur la [Figure 3](#), il est aussi possible de résoudre le déphasage entre $x = d$ et $x = x_m$ en résolvant l'équation de la conduction thermique unidimensionnelle comme indiqué ci-dessus. Toutefois, dans ce cas, la diffusivité thermique est calculée à l'aide du déphasage et du rapport d'amplitude.



Légende

- 1 éprouvette
- 2 flux thermique

Figure 3 — Relation entre l'éprouvette et les coordonnées (flux thermique unidimensionnel, dans le cas où θ_L est maintenue constante)



Légende

- 1 déphasage
- 2 amplitude

Figure 4 — Variation périodique de la température, dans le cas où θ_L varie périodiquement

On obtient donc la [Formule \(5\)](#) (voir la [Figure 4](#)). Les coefficients utilisés dans la [Formule \(5\)](#) sont illustrés dans les [Formules \(6\), \(7\), \(8\) et \(9\)](#). Le coefficient d’amortissement k et la fréquence angulaire ω sont définis dans les [Formules \(2\) et \(3\)](#).

Si la température sur le côté basse température est constante, la [Formule \(5\)](#) est égale à la [Formule \(1\)](#).

$$\varphi = \arctan \begin{cases} \frac{\theta_{1H} \sin(\varphi_H) + \theta_{1L} \sin(\varphi_L + \varepsilon)}{\theta_{1H} \cos(\varphi_H) + \theta_{1L} \cos(\varphi_L + \varepsilon)} & \text{if } \theta_{1H} \cos(\varphi_H) + \theta_{1L} \cos(\varphi_L + \varepsilon) \geq 0, \\ \frac{\theta_{1H} \sin(\varphi_H) + \theta_{1L} \sin(\varphi_L + \varepsilon)}{\theta_{1H} \cos(\varphi_H) + \theta_{1L} \cos(\varphi_L + \varepsilon)} - \pi & \text{if } \theta_{1H} \cos(\varphi_H) + \theta_{1L} \cos(\varphi_L + \varepsilon) < 0, \end{cases} \quad (5)$$

$$\theta_{1H} = \theta_0 \sqrt{\frac{\cosh(2kx_m) - \cos(2kx_m)}{\cosh(2kd) - \cos(2kd)}} \quad (6)$$

$$\theta_{1L} = \theta_2 \sqrt{\frac{\cosh(2kl) - \cos(2kl)}{\cosh(2kd) - \cos(2kd)}} \quad (7)$$

$$\varphi_H = \arg \left(\frac{\sinh\{kx_m(1+i)\}}{\sinh\{kd(1+i)\}} \right) \quad (8)$$

$$\varphi_L = \arg \left(\frac{\sinh\{kl(1+i)\}}{\sinh\{kd(1+i)\}} \right) \quad (9)$$

6 Éprouvette

6.1 Échantillon

L'éprouvette prélevée sur l'échantillon doit respecter l'homogénéité spécifiée dans l'ISO 8302:1991, 1.8.2. Ici, «homogène» signifie que les matières premières, telles que les fibres et particules qui constituent l'éprouvette, sont distribuées uniformément le long de la direction du flux thermique. C'est-à-dire que la distribution des fibres et des particules est indépendante de leur emplacement dans l'éprouvette et qu'il n'y a aucun vide extrême à l'intérieur de l'éprouvette. La méthode de chauffage périodique permet de mesurer la diffusivité thermique de différents types de matériaux isolants fibreux, tels que la fibre céramique, la laine de roche, la fibre de verre et les panneaux fibreux, mais aussi la mousse de styrène, la mousse d'uréthane, la brique et le béton. Cette méthode ne permet toutefois pas de mesurer la diffusivité thermique des matériaux qui subissent une variation de phase, libèrent des gaz, se dilatent ou se rétractent excessivement ou se déforment suite à des phénomènes tels que les fissures.

6.2 Caractéristiques détaillées de l'éprouvette

Les caractéristiques détaillées de l'éprouvette sont les suivantes.

- a) Les dimensions de l'éprouvette doivent être les mêmes que celles de l'élément chauffant pour le chauffage périodique avec une tolérance dimensionnelle de ± 2 mm par rapport aux dimensions de l'élément chauffant.
- b) Il convient que la relation entre la longueur L d'un côté et l'épaisseur d de l'éprouvette soit limitée afin de réduire l'erreur due au flux de chaleur entrant (sortant) par les bords de l'éprouvette. Il convient aussi que l'épaisseur minimale d de l'éprouvette soit limitée afin de réduire l'erreur due au diamètre des thermocouples placés sur les surfaces supérieure/médiane/inférieure de l'éprouvette. Par exemple, en cas d'utilisation d'un tube isolant de 3 mm de diamètre, l'épaisseur minimale d est de 20 mm.
- c) Les surfaces chauffantes et à basse température de l'éprouvette doivent être lisses et, si nécessaire, les éprouvettes en matériaux déformables doivent être maintenues par un cadre ou une entretoise.
- d) L'éprouvette doit être séchée dans un séchoir à $105 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$ jusqu'à l'obtention d'une masse constante. Lorsqu'il y a un risque d'altération ou de déformation par la chaleur, l'éprouvette doit être séchée jusqu'à ce qu'elle atteigne une masse constante à une température qui n'entraîne aucune altération, déformation ou autre variation des propriétés.
- e) La masse volumique apparente de l'éprouvette peut être calculée à l'aide de la [Formule \(10\)](#) basée sur le volume au moment du mesurage de la diffusivité thermique et sur la masse avant ce mesurage.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (10)$$

Il est recommandé que le rapport de la longueur sur la largeur de l'éprouvette (L/d) soit supérieur ou égal à 6, car L/d peut avoir une incidence sur les résultats du mesurage. S'il est nécessaire d'utiliser une valeur inférieure de L/d , la précision du mesurage doit être vérifiée avec la méthode décrite dans l'[Annexe A](#).

6.3 Usinage de l'éprouvette

6.3.1 En cas d'utilisation de deux éprouvettes

Préparer deux éprouvettes ayant à peu près la même masse volumique apparente, et réaliser le travail d'usinage requis pour placer les thermocouples pour le mesurage de la température selon le mode opératoire indiqué ci-après. Dans ce cas, l'épaisseur totale de l'éprouvette composée des deux éprouvettes doit être limitée comme décrit en [6.2](#).

- a) Sur une éprouvette, découper une rainure d'environ 3 mm de largeur et 1,5 mm de profondeur au centre d'une surface, de sorte que la rainure traverse l'éprouvette de part en part; voir la [Figure 5 a](#)).
- b) Sur l'autre éprouvette, découper une rainure d'environ 3 mm de largeur et 1,5 mm de profondeur, en partant du côté jusqu'au centre de la surface de l'éprouvette. Sur la [Figure 5 b](#)), la longueur de la rainure est de 60 mm à 65 mm. Découper aussi une rainure de mêmes dimensions sur l'autre surface de sorte que la rainure traverse l'éprouvette de part en part; voir la [Figure 5 b](#)).
- c) Comme illustré sur la [Figure 5 c](#)), placer l'éprouvette de la [Figure 5 a](#)) sur l'éprouvette de la [Figure 5 b](#)), sans laisser d'espace entre elles.