



**Norme
internationale**

ISO 22007-1

**Plastiques — Détermination de
la conductivité thermique et de la
diffusivité thermique —**

**Partie 1:
Principes généraux**

*Plastics — Determination of thermal conductivity and thermal
diffusivity —*

Part 1: General principles

**Troisième édition
2024-03**

iTeh Standards
(<https://standards.itih.ai>)
Document Preview

[ISO 22007-1:2024](https://standards.itih.ai/catalog/standards/iso/89ed787a-4c00-4a91-8f8a-1ad0c00222c5/iso-22007-1-2024)

<https://standards.itih.ai/catalog/standards/iso/89ed787a-4c00-4a91-8f8a-1ad0c00222c5/iso-22007-1-2024>

iTeh Standards
(<https://standards.iteh.ai>)
Document Preview

[ISO 22007-1:2024](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/89ed787a-4c00-4a91-8f8a-1ad0c00222c5/iso-22007-1-2024)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/89ed787a-4c00-4a91-8f8a-1ad0c00222c5/iso-22007-1-2024>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2024

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 Principes	2
5 Méthodes d'essai	4
5.1 Généralités	4
5.2 Méthode du fil chaud	5
5.3 Méthode de la source linéaire	6
5.4 Méthode de la source plane transitoire	7
5.5 Méthode par analyse de l'oscillation de la température	8
5.6 Méthode flash lumineux	9
5.7 Méthodes en régime stationnaire	9
5.7.1 Méthode de la plaque chaude gardée	9
5.7.2 Méthode du fluxmètre thermique gardé	10
5.8 Méthode comparative pour les faibles conductivités thermiques utilisant une technique de modulation de température	11
5.9 Comparaison des méthodes de conductivité thermique et de diffusivité thermique pour les plastiques	12
6 Rapport d'essai	12
Annexe A (informative) Sources d'incertitude des méthodes transitoires thermiques	13
Bibliographie	19

ITah Standards
 (https://standards.iteh.ai)
 Document Preview

ISO 22007-1:2024

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/89ed787a-4c00-4a91-8f8a-1ad0c00222c5/iso-22007-1-2024>

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'ISO attire l'attention sur le fait que la mise en application du présent document peut entraîner l'utilisation d'un ou de plusieurs brevets. L'ISO ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à l'applicabilité de tout droit de brevet revendiqué à cet égard. À la date de publication du présent document, l'ISO n'avait pas reçu notification qu'un ou plusieurs brevets pouvaient être nécessaires à sa mise en application. Toutefois, il y a lieu d'avertir les responsables de la mise en application du présent document que des informations plus récentes sont susceptibles de figurer dans la base de données de brevets, disponible à l'adresse www.iso.org/brevets. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié tout ou partie de tels droits de propriété.

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 61, *Plastiques*, sous-comité SC 5, *Propriété physicochimiques*, en collaboration avec le comité technique CEN/TC 249, *Plastiques*, du Comité européen de normalisation (CEN) conformément à l'Accord de coopération technique entre l'ISO et le CEN (Accord de Vienne).

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition (ISO 22007-1:2017), qui a fait l'objet d'une révision technique.

Les principales modifications sont les suivantes:

- les termes et définitions qui ne sont pas utilisés dans le document ont été supprimés de [l'Article 3](#);
- le nouveau terme résistance de contact (voir [3.7](#)) a été ajouté;
- la méthode flash laser a été remplacée par la méthode flash lumineux.

Une liste de toutes les parties de l'ISO 22007 est disponible sur le site web de l'ISO.

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.

Plastiques — Détermination de la conductivité thermique et de la diffusivité thermique —

Partie 1: Principes généraux

PRÉCAUTIONS DE SÉCURITÉ — Il convient que l'utilisateur du présent document connaisse bien les pratiques courantes de laboratoire, lorsqu'elles s'appliquent. Le présent document n'a pas pour but de traiter tous les problèmes de sécurité qui sont, le cas échéant, liés à son utilisation. Il incombe à l'utilisateur d'établir des pratiques appropriées en matière d'hygiène et de sécurité, et de déterminer toute exigence réglementaire avant utilisation.

1 Domaine d'application

Le présent document décrit les principes de base des méthodes permettant de déterminer la conductivité thermique et la diffusivité thermique des matériaux polymères. Différentes techniques de mesurage sont disponibles et certaines peuvent être mieux adaptées que d'autres pour un type, un état et une forme particuliers du matériau. Le présent document donne un aperçu général de ces techniques. Les normes propres à ces techniques, telles que mentionnées dans le présent document, sont utilisées pour la mise en œuvre de la méthode d'essai réelle.

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 472, *Plastiques — Vocabulaire*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et les définitions de l'ISO 472 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:

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

3.1

choc thermique

variation thermique ayant la forme d'une impulsion produite par une *source de chaleur* (3.2)

3.2

source de chaleur

élément chauffant ayant la forme d'un fil, d'une bande, d'une plaque ou d'une feuille, noyé dans ou fixé sur une éprouvette, ou zone irradiée par une lumière incidente, par exemple un laser

**3.3
flux de chaleur**

q
puissance calorifique produite par une *source de chaleur* (3.2) plane par unité de temps et unité de surface

Note 1 à l'article: Il est exprimé en watts par mètre carré (W/m²).

**3.4
transitoire thermique**

perturbation temporaire de la température dans un système initialement à une température uniforme, due à un choc thermique pendant une période au cours de laquelle le système n'atteint pas l'équilibre

**3.5
capacité thermique volumique**

produit de la masse volumique par la capacité thermique massique

Note 1 à l'article: Elle est exprimée en joules par mètre cube kelvin [J/(m³ · K)].

**3.6
effusivité thermique**

b
propriété de transfert de chaleur donnée par la racine carrée du produit de la conductivité thermique par la *capacité thermique volumique* (3.5):

$$b = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c_p}$$

où

λ est la conductivité thermique en watts par mètre kelvin [W/(m · K)];

ρ est la masse volumique en kilogrammes par mètre cube [kg/m³];

c_p est la capacité thermique massique en joules par kelvin kilogramme [J/(K · kg)]

Note 1 à l'article: Elle est exprimée en joules par mètre carré kelvin seconde à la puissance un demi [J/(m² · K · s^{1/2})].

3.7 <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/89ed787a-4c00-4a91-8f8a-1ad0c00222c5/iso-22007-1-2024>

résistance de contact

résistance thermique surfacique

RTS

R

résistance thermique due aux conditions de contact des solides

Note 1 à l'article: La quantité de chaleur qui traverse une unité de surface de transfert de chaleur est proportionnelle à la différence de température entre ses deux côtés et inversement proportionnelle à la résistance thermique R .

La résistance thermique R d'un matériau d'épaisseur d et de conductivité thermique λ est définie comme

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

Si la chaleur passe à travers différents matériaux en série, la résistance thermique globale correspond à la somme des matériaux individuels.

Note 2 à l'article: Elle est exprimée en mètres carrés kelvins par watt [(m² · K)/W].

4 Principes

La conductivité thermique se rapporte spécifiquement au mode de transfert de chaleur par conduction. Lors du mesurage de la conductivité thermique, d'autres modes de transfert de la chaleur peuvent se produire, par exemple par convection, par rayonnement et par transfert de masse. Lorsque ces modes sont significatifs, la

propriété mesurée est généralement désignée en tant que conductivité thermique apparente ou effective. La conductivité thermique est influencée par les conditions dans lesquelles elle est mesurée, telles que la température et la pression, ainsi que par les variations de la composition du matériau et l'orientation de l'éprouvette, car certains matériaux ne sont pas isotropes.

Dans les méthodes en régime stationnaire, on laisse s'équilibrer à une température donnée une éprouvette de dimensions appropriées et de géométrie simple, en contact avec une source de chaleur et avec un ou plusieurs capteurs de température combinés ou séparés. Les méthodes transitoires peuvent être avec contact ou sans contact. Un transitoire de température est généré par un choc thermique afin de produire un champ de température dynamique au sein de l'éprouvette. La variation de température avec le temps (réponse en température) est mesurée par un ou plusieurs capteurs qui sont soit unifiés avec la source de chaleur et placés à une distance fixe de la source, soit situés de l'autre côté de l'éprouvette dans le cas de la méthode flash lumineux. Pour mesurer des films très minces (avec des épaisseurs de l'ordre de nanomètres) la méthode de réflectance thermique – une variante ultrarapide de l'analyse flash laser – est bien adaptée. Deux modes sont disponibles: le chauffage arrière/détection avant et chauffage avant/détection avant[26]. Dans tous les cas, la réponse est ensuite analysée conformément à un modèle et un ensemble de solutions élaborés pour le montage représentatif et conçus pour la géométrie spécifique et les conditions aux limites prévues. Selon la géométrie de l'éprouvette et de la source et des moyens employés pour générer le champ de température, une ou plusieurs propriétés thermophysiques peuvent être obtenues séparément ou simultanément. Le [Tableau 1](#) présente un récapitulatif des caractéristiques pour différentes formes des méthodes transitoires et les propriétés qu'elles permettent de déterminer.

NOTE 1 La plupart des plastiques non chargés appartiennent à la catégorie des matériaux ayant une conductivité thermique intermédiaire (0,1 W/m · K à 1 W/m · K).

NOTE 2 Le poly(méthacrylate de méthyle) et le panneau de fibres de verre IRMM-440 et le verre céramique BCR-724¹⁾ se situent actuellement dans la plage de conductivité thermique de la plupart des matériaux polymères et polymères chargés. Le polydiméthylsiloxane et le glycérol sont des matériaux fluides de référence bien caractérisés qui se situent dans la plage de conductivité thermique des plastiques.

NOTE 3 La conductivité thermique λ peut être obtenue en multipliant la diffusivité thermique α par la capacité thermique volumique ou par la capacité thermique massique à pression constante c_p multipliée par la masse volumique ρ , c'est-à-dire $\lambda = \alpha \cdot c_p \cdot \rho$.

Tableau 1 — Caractéristiques fondamentales des méthodes transitoires

Type de méthode	Source de chaleur/ Géométrie de la source de chaleur	Mode de production de chaleur	Configuration source de chaleur/capteur de température	Paramètres mesurés et/ou calculés
Fil chaud/ source linéaire/ bande chaude	Contact/Linéaire, bande	Progressif	Unie ^a ou séparée ^b	λ, α (c_p et b dans certaines formes de la méthode)
Choc transitoire	Plane	Choc	Séparée	α, c_p, λ
Source plane transitoire	Contact/plane	Choc, progressif	Unie	α, c_p, λ
Flash laser ou lumineux	Laser, lampe xénon/plane	Choc	Séparée	α, c_p, λ

λ = conductivité thermique; α = diffusivité thermique; b = effusivité thermique; c_p = capacité thermique massique.

^a Un capteur.

^b Deux capteurs.

L'[Annexe A](#) fournit des informations sur les sources d'incertitude des méthodes transitoires par contact.

1) Le panneau de fibres de verre IRMM-440 et le verre céramique BCR-724 sont des produits fournis par le Joint Research Centre (JRC) de la Commission européenne. Cette information est donnée à l'intention des utilisateurs du présent document et ne signifie nullement que l'ISO approuve ou recommande l'emploi exclusif du produit ainsi désigné.

5 Méthodes d'essai

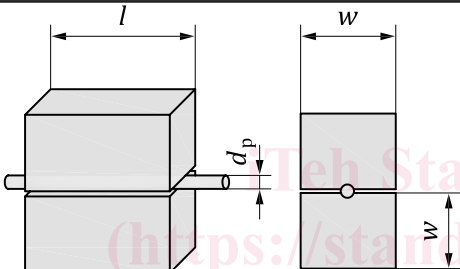
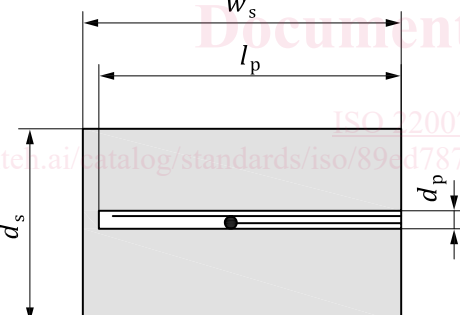
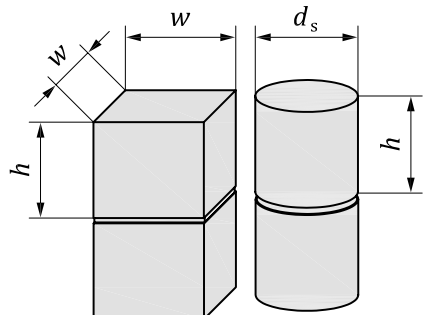
5.1 Généralités

De nombreuses méthodes d'essai ont été élaborées pour fournir un moyen de mesurer la conductivité thermique et la diffusivité thermique en se fondant sur le principe de base exposé ci-dessus. Un aperçu de ces méthodes est donné dans les paragraphes suivants. Certaines de ces méthodes sont résumées dans le [Tableau 2](#). Tous les détails de la mise en œuvre de chacune des méthodes d'essai décrites de [5.4](#) à [5.6](#) sont donnés dans l'ISO 22007-2, l'ISO 22007-3 et l'ISO 22007-4.

Dans les méthodes par contact, l'exactitude du résultat du mesurage dépend fortement du bon contact thermique entre le détecteur et l'éprouvette. Il convient d'appliquer une pression uniaxiale suffisante pour presser les parties de l'éprouvette contre la source de chaleur.

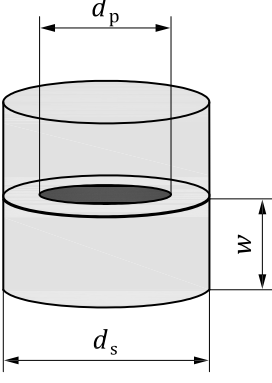
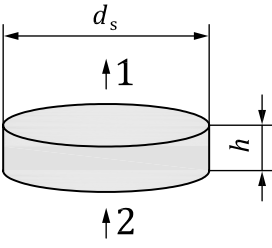
NOTE Dans certains cas, de la pâte de dissipation thermique est utilisée dans le but d'améliorer le contact.

Tableau 2 — Représentation schématique des différentes méthodes expérimentales transitoires par contact indiquant les dimensions critiques

Méthode	Configuration de l'éprouvette	Paramètres caractéristiques	Modèle idéal
Fil chaud ^a		l = longueur de l'éprouvette w = largeur de l'éprouvette, épaisseur d_p = diamètre du fil	$200d_p < w$ $l > 4w$
Source linéaire ^a		w_s = zone active l_p = longueur de la sonde d_p = diamètre de la sonde d_s = diamètre de l'éprouvette	$w_s > 1,5 l_p$ $l_p > 33 d_p$ $d_s > 6 d_p$
Plaque chaude ^b		w = largeur, épaisseur h = hauteur d_s = diamètre de l'éprouvette	$w, h, d_s > 3\sqrt{\alpha t_{\max}}$ où t_{\max} est la durée maximale de mesurage

^a Une rainure ou un trou approprié(e) doit être réalisé(e) pour le fil chaud ou la source linéaire, sauf si l'éprouvette est liquide.
^b Un bon contact thermique doit être obtenu entre la bande ou le disque et l'éprouvette.
^c Géométries possibles: éprouvette ronde ou rectangulaire.

Tableau 2 (suite)

Méthode	Configuration de l'éprouvette	Paramètres caractéristiques	Modèle idéal
Source plane transitoire ^b		d_p = diamètre de la source de chaleur d_s = diamètre de l'éprouvette w = épaisseur de l'éprouvette	$d_s - d_p > 4\sqrt{\alpha t_{\max}}$ où t_{\max} est la durée maximale de mesure
Flash laser ou lumineux ^c		h = épaisseur de l'éprouvette d_s/h = rapport entre le diamètre de l'éprouvette (d_s) et l'épaisseur (h) 1 = détecteur IR 2 = source de puissance (laser ou lampe xénon)	$d_s/h > 5$ Le diamètre d_s ou la longueur du côté de l'éprouvette doit être > 10 mm

^a Une rainure ou un trou approprié(e) doit être réalisé(e) pour le fil chaud ou la source linéaire, sauf si l'éprouvette est liquide.
^b Un bon contact thermique doit être obtenu entre la bande ou le disque et l'éprouvette.
^c Géométries possibles: éprouvette ronde ou rectangulaire.

5.2 Méthode du fil chaud

Cette méthode peut être utilisée pour déterminer la conductivité thermique des polymères en fonction de la température. Un fil chauffant est placé dans une éprouvette ou entre deux éprouvettes du même matériau. La température est mesurée par le fil lui-même agissant comme un détecteur de température à résistance de platine ou par un thermocouple placé à proximité immédiate du fil. L'élément chauffant est mis sous tension et l'élévation de température du thermocouple est mesurée en fonction du temps.

Il est possible de décrire le flux de chaleur transitoire pour un fil infiniment long, dérivé de l'équation différentielle de Fourier comme indiqué dans la [Formule \(1\)](#):

$$\Delta T(r, t) = -\frac{\phi}{4\pi L \lambda} \text{Ei}\left(-\frac{r^2}{4\alpha t}\right) \quad (1)$$

où

- t est le temps, en s;
- ϕ est le flux de chaleur généré par le fil, en W;
- r est la distance entre l'élément chauffant et le thermocouple, en m;
- L est la longueur du fil, en m;
- λ est la conductivité thermique, en W/(m·K);
- α est la diffusivité thermique, en m²/s ($\alpha = \lambda/\rho C_p$);
- Ei(x) est l'intégrale d'exponentielle, donnée par:

$$-\text{Ei}(x) = \int_x^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du \quad (2)$$

Pour les valeurs de $r^2/4\alpha t$ inférieures à 1, la [Formule \(2\)](#) peut être simplifiée en [Formule \(3\)](#):

$$\Delta T(r,t) = -\frac{\phi}{4\pi L\lambda} \ln \frac{4\alpha t}{r^2 C} \quad (3)$$

où

$$C = e^\gamma$$

où γ est la constante d'Euler (= 0,577 216).

Selon la [Formule \(3\)](#), la variation de la température, $\Delta T(r,t)$, est une fonction linéaire du logarithme népérien du temps et la conductivité thermique de l'échantillon peut être déterminée à l'aide de la [Formule \(4\)](#):

$$\lambda = \frac{\phi}{4\pi LK} \quad (4)$$

où K est la pente de la partie linéaire de la courbe de la variation de température en fonction du logarithme népérien du temps.

En utilisant les dimensions appropriées pour l'éprouvette et l'élément chauffant, telles qu'indiquées dans le [Tableau 2](#), la [Formule \(4\)](#) peut être utilisée pour des applications pratiques.

Les détails de la méthode d'essai sont donnés dans l'ISO 8894-1[3], l'ISO 8894-2[4] et l'ASTM C1113[19].

5.3 Méthode de la source linéaire

Cette technique[17], parfois appelée méthode de la sonde aiguille, est une variante de la méthode du fil chaud. Elle fait appel à une sonde de source linéaire ayant la forme d'une aiguille qui permet d'effectuer des mesurages répétés de la conductivité thermique sans détruire le capteur. Cette méthode transitoire permet d'effectuer des mesurages très rapides et est adaptée aux mesurages de la conductivité thermique à l'état fondu ainsi qu'à l'état solide. Elle n'est pas adaptée au mesurage des propriétés directionnelles des matériaux anisotropes à l'état solide.

Une source linéaire est placée au centre de l'éprouvette soumise à essai. La source linéaire et l'éprouvette sont maintenues à une température initiale constante. Au cours du mesurage, une quantité connue de chaleur est produite par la source linéaire et engendre la propagation radiale d'une onde calorifique dans l'éprouvette. Les formules principales sont les mêmes que pour la méthode du fil chaud. La source linéaire prend la forme d'une sonde aiguille de longueur et de diamètre finis. Les sondes types ont une longueur comprise entre 50 mm et 100 mm et un diamètre de l'ordre de 1,5 mm à 2 mm et contiennent un élément chauffant qui parcourt toute la longueur de l'aiguille. Un capteur à thermocouple également situé à l'intérieur de l'aiguille et dont le point sensible est positionné à mi-longueur de la sonde mesure l'élévation de température associée au transitoire. Tout écart par rapport au modèle, par exemple des dimensions finies de la sonde, nécessite un étalonnage de la sonde avec un matériau de référence. Une constante de sonde, C , est introduite dans la [Formule \(4\)](#); elle représente le rapport de la conductivité thermique réelle du matériau de référence à celle mesurée par l'instrument comme indiqué dans la [Formule \(5\)](#):

$$\lambda = \frac{C\phi}{4\pi LK} \quad (5)$$

NOTE 1 Les fluides à la silicone et le glycérol ont été utilisés comme matériaux de référence[18]. Si le glycérol est utilisé comme matériau de référence, il est recommandé de prendre des précautions car il est sensible à l'humidité.

Les transitoires types présentent une non-linéarité initiale due à la propagation de l'onde calorifique dans la capacité thermique finie de la sonde. Il s'agit d'une région de haute conductivité et donc de pente faible. Dans le cas des transitoires types à l'état fondu, où l'éprouvette ne présente pas de résistance de contact,