
**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*

ISO 22007-1:2009

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/6db69437-9b82-48ca-ba76-915a50183a79/iso-22007-1-2009>



PDF – Exonération de responsabilité

Le présent fichier PDF peut contenir des polices de caractères intégrées. Conformément aux conditions de licence d'Adobe, ce fichier peut être imprimé ou visualisé, mais ne doit pas être modifié à moins que l'ordinateur employé à cet effet ne bénéficie d'une licence autorisant l'utilisation de ces polices et que celles-ci y soient installées. Lors du téléchargement de ce fichier, les parties concernées acceptent de fait la responsabilité de ne pas enfreindre les conditions de licence d'Adobe. Le Secrétariat central de l'ISO décline toute responsabilité en la matière.

Adobe est une marque déposée d'Adobe Systems Incorporated.

Les détails relatifs aux produits logiciels utilisés pour la création du présent fichier PDF sont disponibles dans la rubrique General Info du fichier; les paramètres de création PDF ont été optimisés pour l'impression. Toutes les mesures ont été prises pour garantir l'exploitation de ce fichier par les comités membres de l'ISO. Dans le cas peu probable où surviendrait un problème d'utilisation, veuillez en informer le Secrétariat central à l'adresse donnée ci-dessous.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 22007-1:2009](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/6db69437-9b82-48ca-ba76-915a50183a79/iso-22007-1-2009)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/6db69437-9b82-48ca-ba76-915a50183a79/iso-22007-1-2009>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2009

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, 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'ISO à l'adresse ci-après ou du comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20
Tel. + 41 22 749 01 11
Fax + 41 22 749 09 47
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	3
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 laser	9
5.7 Méthodes gardées	9
5.7.1 Méthode de la plaque chaude gardée	9
5.7.2 Méthode du fluxmètre thermique gardé	10
6 Rapport d'essai	11
Annexe A (informative) Sources d'incertitude des méthodes transitoires	12
Bibliographie	18

[ISO 22007-1:2009](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/6db69437-9b82-48ca-ba76-915a50183a79/iso-22007-1-2009)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/6db69437-9b82-48ca-ba76-915a50183a79/iso-22007-1-2009>

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 Normes internationales sont rédigées conformément aux règles données dans les Directives ISO/CEI, Partie 2.

La tâche principale des comités techniques est d'élaborer les Normes internationales. 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.

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.

L'ISO 22007-1 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 61, *Plastiques*, sous-comité SC 5, *Propriétés physicochimiques*.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

L'ISO 22007 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Plastiques — Détermination de la conductivité thermique et de la diffusivité thermique*.

- *Partie 1: Principes généraux*
- *Partie 2: Méthode de la source plane transitoire (disque chaud)*
- *Partie 3: Méthode par analyse de l'oscillation de la température*
- *Partie 4: Méthode flash laser*
- *Partie 5: Détermination de la conductivité thermique et de la diffusivité thermique du poly(méthacrylate de méthyle) [Rapport technique] (en préparation)*

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

Partie 1: Principes généraux

PRÉCAUTIONS DE SÉCURITÉ — Il convient que l'utilisateur de la présente Norme internationale connaisse bien les pratiques courantes de laboratoire, lorsqu'elles s'appliquent. La présente Norme internationale 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 s'assurer de la conformité à la réglementation nationale en vigueur.

1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO 22007 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. La présente partie de l'ISO 22007 donne un aperçu général de ces techniques. Les normes propres à ces techniques, telles que mentionnées dans la présente partie de l'ISO 22007, sont utilisées pour la mise en œuvre de la méthode d'essai réelle.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/6db69437-9b82-48ca-ba76-915a50183a79/iso-22007-1-2009>

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour 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).

ISO 472, *Plastiques — Vocabulaire*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 472 ainsi que les suivants s'appliquent.

3.1

choc thermique

variation thermique ayant la forme d'une impulsion produite par une source de chaleur

3.2

énergie de choc thermique

quantité de chaleur produite par une source de chaleur au cours du choc thermique

NOTE Elle est exprimée en joules (J).

3.3
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

3.4
flux de chaleur
 q
puissance calorifique produite par une source de chaleur plane par unité de temps et unité de surface

NOTE Il est exprimé en watts par mètre carré (W/m²).

3.5
flux thermique linéaire
puissance calorifique produite par une source de chaleur linéaire par unité de temps et unité de longueur

NOTE Il est exprimé en watts par mètre (W/m).

3.6
profondeur de pénétration
profondeur caractéristique utilisée pour décrire l'étendue de la pénétration de la chaleur dans l'éprouvette durant un processus de mesurage transitoire

NOTE Elle est exprimée en mètres (m).

3.7
transitoire de température
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

3.8
capacité calorifique volumique
produit de la masse volumique par la chaleur massique

NOTE Elle est exprimée en joules par mètre cube kelvin [J/(m³·K)].

3.9
effusivité thermique
 b
propriété de transfert de chaleur donnée par la racine carrée du produit de la conductivité thermique par la capacité calorifique volumique:

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

où

λ est la conductivité thermique;

ρ est la masse volumique;

c_p est la capacité calorifique

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

3.10
résistivité thermique
inverse de la conductivité thermique

NOTE Elle est exprimée en mètres kelvins par watt [(m·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 laser. 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 par contact 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)]. Ils sont plus conducteurs que les mousses et les produits d'isolation, mais environ cinq fois moins conducteurs que les céramiques et le verre. Leur conductivité thermique peut être considérablement augmentée par l'addition de charges. Différentes méthodes d'essai peuvent être utilisées selon la forme et l'état du plastique. Un aperçu de ces méthodes est donné dans l'Article 5. Des méthodes d'essai détaillées sont contenues dans d'autres parties de l'ISO 22007 et dans d'autres normes citées en référence.

NOTE 2 Des matériaux de référence sont nécessaires pour vérifier les performances de la méthode principale et pour étalonner les méthodes secondaires. De nombreux matériaux solides ont été caractérisés par des laboratoires nationaux de normalisation, tels que NPL, NIST, LNE, NMIJ et PTB, mais seuls le poly(méthacrylate de méthyle) et le verre Pyrex 7740¹⁾ 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.

Tableau 1 — Caractéristiques fondamentales des méthodes transitoires par contact

Type de méthode	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	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	Disque	Choc	Unie	α, C_p, λ
λ = conductivité thermique; α = diffusivité thermique; b = effusivité thermique; C_p = chaleur massique				
^a Un capteur.				
^b Deux capteurs.				

1) Pyrex est une appellation commerciale déposée par Corning Incorporated. Cette information est donnée à l'intention des utilisateurs de la présente partie de l'ISO 22007 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, puis expliquées de manière plus détaillée. 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^[14], l'ISO 22007-3^[15] et l'ISO 22007-4^[16].

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

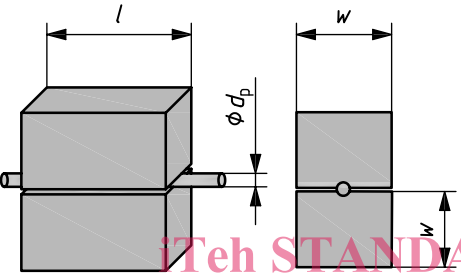
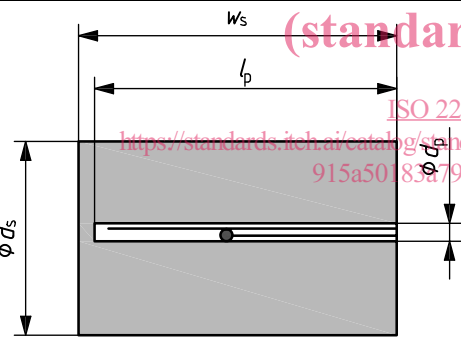
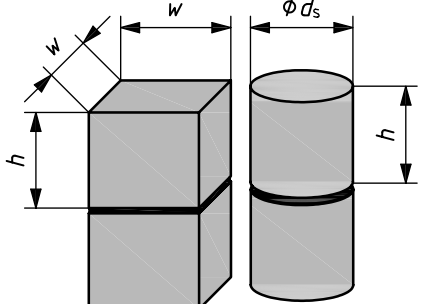
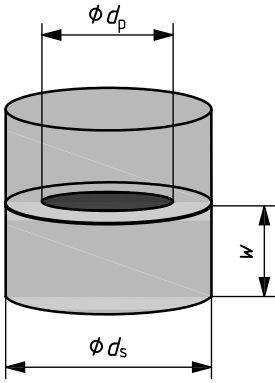
Méthode	Configuration de l'éprouvette	Paramètres caractéristiques	Modèle idéal
Fil chaud ^a		l = longueur de l'éprouvette w = largeur de l'éprouvette, épaisseur d_p = diamètre du fil	$200d_p < w$ $l > 4w$
Source linéaire ^a		w_s = zone active l_p = longueur de la sonde d_p = diamètre de la sonde d_s = 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} = durée maximale de mesure

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} = durée maximale de mesurage
<p>^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.</p> <p>^b Un bon contact thermique doit être obtenu entre la bande ou le disque et l'éprouvette.</p>			

Dans les méthodes par contact, il convient d'appliquer une pression uniaxiale suffisante pour presser les parties de l'éprouvette contre la source de chaleur afin d'obtenir un contact thermique satisfaisant. Une pâte de dissipation thermique peut être utilisée dans le but d'améliorer le contact, mais il convient qu'il n'y ait pas de pâte de dissipation thermique à l'extérieur des éléments chauffants, sinon le champ de température peut être perturbé. De plus, l'utilisation de pâtes de dissipation thermique peut contribuer à l'incertitude de mesure et leur effet doit être quantifié de manière adéquate pour obtenir des résultats précis.

5.2 Méthode du fil chaud

ISO 22007-1:2009

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/6db69437-9b82-48ca-ba76-91a56102a799/iso-22007-1:2009>

Cette méthode peut être utilisée pour déterminer la conductivité thermique des polymères en fonction de la température. Elle n'est applicable qu'aux matériaux isotropes, quelle que soit leur forme, par exemple plaques, mousses, granulés ou poudres.

NOTE La méthode du fil chaud est principalement utilisée pour des polymères solides, car les éléments de mesurage peuvent être détruits lorsque l'on travaille avec des polymères fondus.

La méthode du fil chaud est une méthode transitoire. 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 suit:

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

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 ($\alpha = \lambda / \rho C_p$);
- ρ est la masse volumique, en kg/m³;
- C_p est la chaleur massique isobare, en J/(kg·K);
- $Ei(x)$ est l'intégrale d'exponentielle, donnée par:

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

Pour les valeurs de $r^2/4\alpha t$ inférieures à 1, l'Équation (1) peut être simplifiée comme suit:

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

où

$C = e^\gamma$ où γ est la constante d'Euler (= 0,577 216).

Selon l'Équation (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 l'équation:

$$\lambda = \frac{\Phi}{4\pi L K} \quad (4)$$

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, l'Équation (4) peut être utilisée pour des applications pratiques.

Les détails de la méthode d'essai sont donnés dans l'ISO 8894-1^[12] et l'ISO 8894-2^[13].

5.3 Méthode de la source linéaire

Cette technique ^[2], 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 l'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 équations 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 l'Équation (4); elle représente le rapport de la conductivité thermique réelle du matériau de référence à celle mesurée par l'instrument:

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

NOTE 1 Les fluides à la silicone et le glycérol ont été utilisés comme matériaux de référence [3]. Si le glycérol est utilisé comme matériau de référence, il est recommandé de prendre des précautions car ses propriétés sont sensibles 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, le transitoire approche de la linéarité directement après avoir subi cet effet, généralement en quelques secondes. La pente d'intérêt est la région linéaire qui suit la non-linéarité initiale. Les périodes d'acquisition varient habituellement de 30 s à 60 s. Ce point est très important lors de la collecte des données de conductivité thermique à l'état fondu car il réduit considérablement la possibilité de dégradation thermique.

NOTE 2 Des méthodes de balayage ont été élaborées et permettent l'acquisition automatique des données à différentes températures de sorte que des mesurages sont possibles sur une large plage de températures. Avec ces méthodes, il est possible d'utiliser la même éprouvette pour les mesurages à l'état fondu et pour les mesurages à l'état solide, ce qui permet d'effectuer des mesurages pendant la transition de l'état fondu à l'état solide.

Les détails de la méthode d'essai sont donnés dans l'ASTM D5930 [17].

5.4 Méthode de la source plane transitoire

La méthode de la source plane transitoire permet d'effectuer des mesurages à l'état solide sur des feuilles de matériaux. Elle peut être appliquée lorsque des effets d'orientation existent et peut aussi être étendue aux pellicules minces.

La technique [4] utilise un élément résistif mince, plan et isolé électriquement à la fois comme source de chaleur et capteur de température, pour mesurer la conductivité thermique et la diffusivité thermique à partir de l'enregistrement d'un seul transitoire. Ce capteur à élément résistif est mis en contact thermique avec deux moitiés d'une éprouvette du matériau étudié. Chacune des moitiés de l'éprouvette doit avoir une surface plane afin que le capteur s'adapte étroitement entre ces surfaces.

En fournissant une puissance électrique constante au capteur, de rayon connu, et en enregistrant l'augmentation de la résistance en fonction du temps, il est possible de déduire la conductivité thermique et la diffusivité thermique à partir de l'enregistrement d'un seul transitoire. Pour être en mesure de déduire ces deux propriétés de transfert à partir de l'enregistrement d'un seul transitoire, il est important que la profondeur de vérification Δp_{prob} – définie comme $\Delta p_{\text{prob}} = 2(\alpha t)^{1/2}$, où α est la diffusivité thermique du matériau de l'échantillon et t est la durée totale du transitoire – employée lors de l'essai soit supérieure au rayon, mais inférieure au diamètre du capteur.

Le capteur peut être de différentes conceptions et être constitué de différents matériaux. Une configuration en spirale est d'usage courant. Le nickel et le molybdène ont été utilisés comme matériaux détecteurs et la spirale de détection munie de fils de connexion a été gravée ou découpée dans une feuille mince d'environ 10 μm d'épaisseur. D'autres matériaux détecteurs peuvent être utilisés à condition qu'ils présentent un coefficient de température de la résistivité raisonnablement élevé. Cette exigence est motivée par le fait que le capteur est utilisé non seulement pour augmenter sa température et la température de l'éprouvette au voisinage du capteur, mais aussi pour enregistrer les variations de température.