

---

---

**Matériaux réfractaires — Détermination  
de la conductivité thermique —**

Partie 1:

**Méthodes du fil chaud («croisillon» et  
«thermomètre à résistance»)**

*Refractory materials — Determination of thermal conductivity —  
Part 1: Hot-wire methods (cross-array and resistance thermometer)*  
iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

ISO 8894-1:2010

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/907b0520-99df-479d-bd19-2314b4a6dd80/iso-8894-1-2010>



**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 8894-1:2010

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/907b0520-99df-479d-bd19-2314b4a6dd80/iso-8894-1-2010>



**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2010

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](mailto:copyright@iso.org)  
Web [www.iso.org](http://www.iso.org)

Publié en Suisse

## Sommaire

Page

Avant-propos .....	iv
<b>1</b> <b>Domaine d'application</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b> <b>Termes et définitions</b> .....	<b>1</b>
<b>3</b> <b>Principe</b> .....	<b>2</b>
<b>4</b> <b>Appareillage</b> .....	<b>2</b>
<b>5</b> <b>Éprouvettes</b> .....	<b>8</b>
<b>6</b> <b>Mode opératoire</b> .....	<b>9</b>
<b>7</b> <b>Interprétation des résultats</b> .....	<b>11</b>
<b>8</b> <b>Calculs et expression des résultats</b> .....	<b>11</b>
<b>9</b> <b>Fidélité</b> .....	<b>11</b>
<b>10</b> <b>Rapport d'essai</b> .....	<b>12</b>
<b>Annexe A</b> (informative) <b>Conversion des données de variation de résistance en variation de température</b> .....	<b>13</b>
<b>Annexe B</b> (informative) <b>Exemples de mesures de la conductivité thermique</b> .....	<b>18</b>

ISO 8894-1:2010

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/907b0520-99df-479d-bd19-2314b4a6dd80/iso-8894-1-2010>

## 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 8894-1 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 33, *Matériaux réfractaires*.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 8894-1:1987), qui a été révisée pour inclure les méthodes du fil chaud «croisillon» et du fil chaud «thermomètre à résistance», et pour harmoniser le texte avec l'EN 993-14:1998, *Méthodes d'essai pour produits réfractaires façonnés denses — Partie 14: Détermination de la conductivité thermique par la méthode du fil chaud (croisillon)*, élaborée par le CEN/TC 187.

L'ISO 8894 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Matériaux réfractaires — Détermination de la conductivité thermique*:

- *Partie 1: Méthodes du fil chaud («croisillon» et «thermomètre à résistance»)*
- *Partie 2: Méthode du fil chaud (parallèle)*

# Matériaux réfractaires — Détermination de la conductivité thermique —

## Partie 1:

## Méthodes du fil chaud («croisillon» et «thermomètre à résistance»)

### 1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO 8894 décrit les méthodes du fil chaud («croisillon» et «thermomètre à résistance») servant à la détermination de la conductivité thermique des produits et matériaux réfractaires diélectriques non carbonés.

Ces méthodes s'appliquent aux produits réfractaires denses et isolants (produits façonnés, bétons réfractaires, réfractaires plastiques, pisés, matériaux pulvérulents ou granulaires) avec des valeurs de conductivité thermique inférieures à 1,5 W/(m·K) («croisillon») et à 15 W/(m·K) («thermomètre à résistance»), et des valeurs de diffusivité thermique inférieures à  $5 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s.

Les valeurs de conductivité thermique peuvent être déterminées depuis la température ambiante jusqu'à 1 250 °C. La température maximale (1 250 °C) peut être réduite par la température limite maximale de service du produit réfractaire, ou par la température à laquelle le produit réfractaire n'est plus diélectrique.

NOTE 1 Il est en général difficile de procéder à des mesures précises sur des matériaux anisotropes et l'application de la présente méthode à ces matériaux peut l'objet d'un accord entre les parties concernées.

NOTE 2 La conductivité thermique des produits avec une liaison chimique ou hydraulique peut être modifiée par la quantité d'eau notable retenue après le durcissement ou la prise puis libérée à la cuisson. Ces matériaux peuvent donc nécessiter un prétraitement; la nature et l'importance de ce prétraitement ainsi que la durée de maintien de l'éprouvette à la température de mesure, étant préliminaires à l'exécution de l'essai, sont des détails qui ne relèvent pas de l'objet de la présente partie de l'ISO 8894 et qui font l'objet d'un accord entre les parties concernées.

NOTE 3 La mesure de la conductivité thermique n'est pas suffisamment simple pour qu'un ingénieur puisse s'attendre à obtenir des résultats corrects sans avoir une expérience de travail particulière et si le travail se base exclusivement sur la présente partie de l'ISO 8894. Une expérience suffisante en mesure de température et des compétences en laboratoire sont nécessaires.

### 2 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

#### 2.1

##### conductivité thermique

$\lambda$

densité du flux de chaleur divisée par le gradient de température

NOTE La conductivité thermique est exprimée en watts par mètre kelvin (W/m·K).

## 2.2 diffusivité thermique

$a$

conductivité thermique divisée par la densité apparente multipliée par la capacité thermique spécifique

NOTE 1  $a = \lambda / \rho \cdot c_p$

où

$\lambda$  est la conductivité thermique;

$\rho$  est la masse volumique;

$c_p$  est la capacité thermique spécifique massique à pression constante.

NOTE 2 La diffusivité thermique est exprimée en mètres carrés par seconde ( $m^2s^{-1}$ ).

## 2.3 puissance

$P$

débit d'énergie transférée

NOTE La puissance est exprimée en watts (W).

## 3 Principe

Les méthodes du fil chaud «croisillon» et «thermomètre à résistance» sont des méthodes de mesure dynamiques fondées sur la détermination de l'élévation de la température en fonction du temps d'une source thermique linéaire (fil chaud) encastrée entre deux éprouvettes formant le dispositif d'essai.

Les éprouvettes sont chauffées dans un four à une température spécifiée et maintenues à cette température. Un chauffage local ultérieur est fourni par un conducteur électrique linéaire (le fil chaud) encastré de façon symétrique dans l'éprouvette et transportant un courant électrique de puissance connue qui est stable dans le temps et sur toute la longueur des éprouvettes.

L'élévation de la température en fonction du temps suit une loi logarithmique, et est mesurée et enregistrée à partir du moment où le courant électrique local est allumé. La conductivité thermique des éprouvettes est calculée à partir des vitesses de montée en température et de la puissance absorbée.

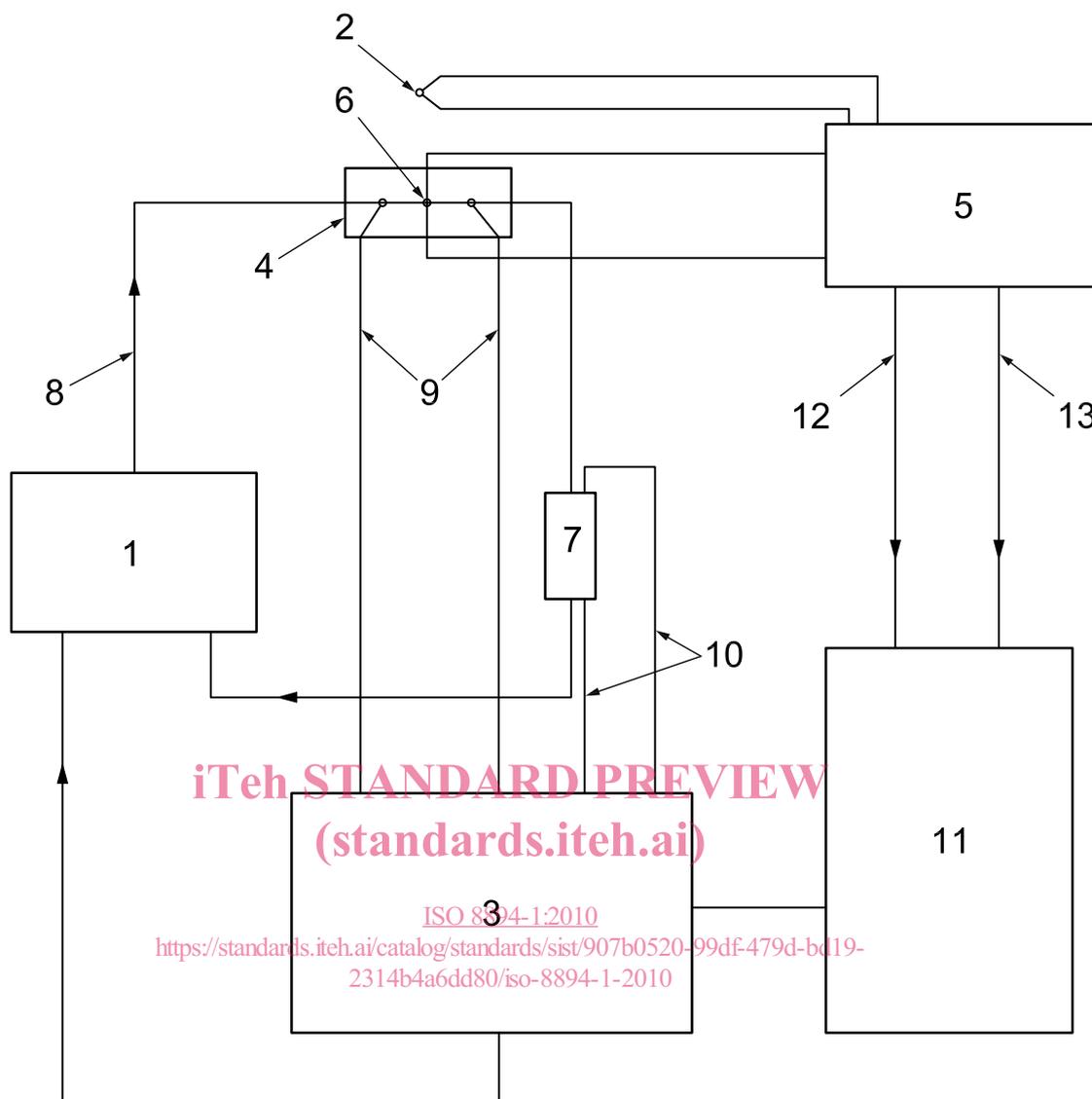
Pour la méthode du fil chaud «croisillon», l'élévation de la température est mesurée à l'aide d'un thermocouple qui est soudé au fil chaud en son milieu. Les branches du thermocouple sont perpendiculaires au fil chaud.

Pour la méthode du «thermomètre à résistance», l'élévation de la température est mesurée à l'aide du fil chaud lui-même servant à la fois de source de chaleur et de sonde thermique. Un mesurage de la température intégrale du fil chaud est effectué sur toute la longueur du fil entre les bornes de prise de tension. La variation de la résistance de cette partie du fil chaud est déterminée. Son élévation de température est calculée à partir de ces données. La procédure mathématique est décrite dans l'Annexe A.

## 4 Appareillage

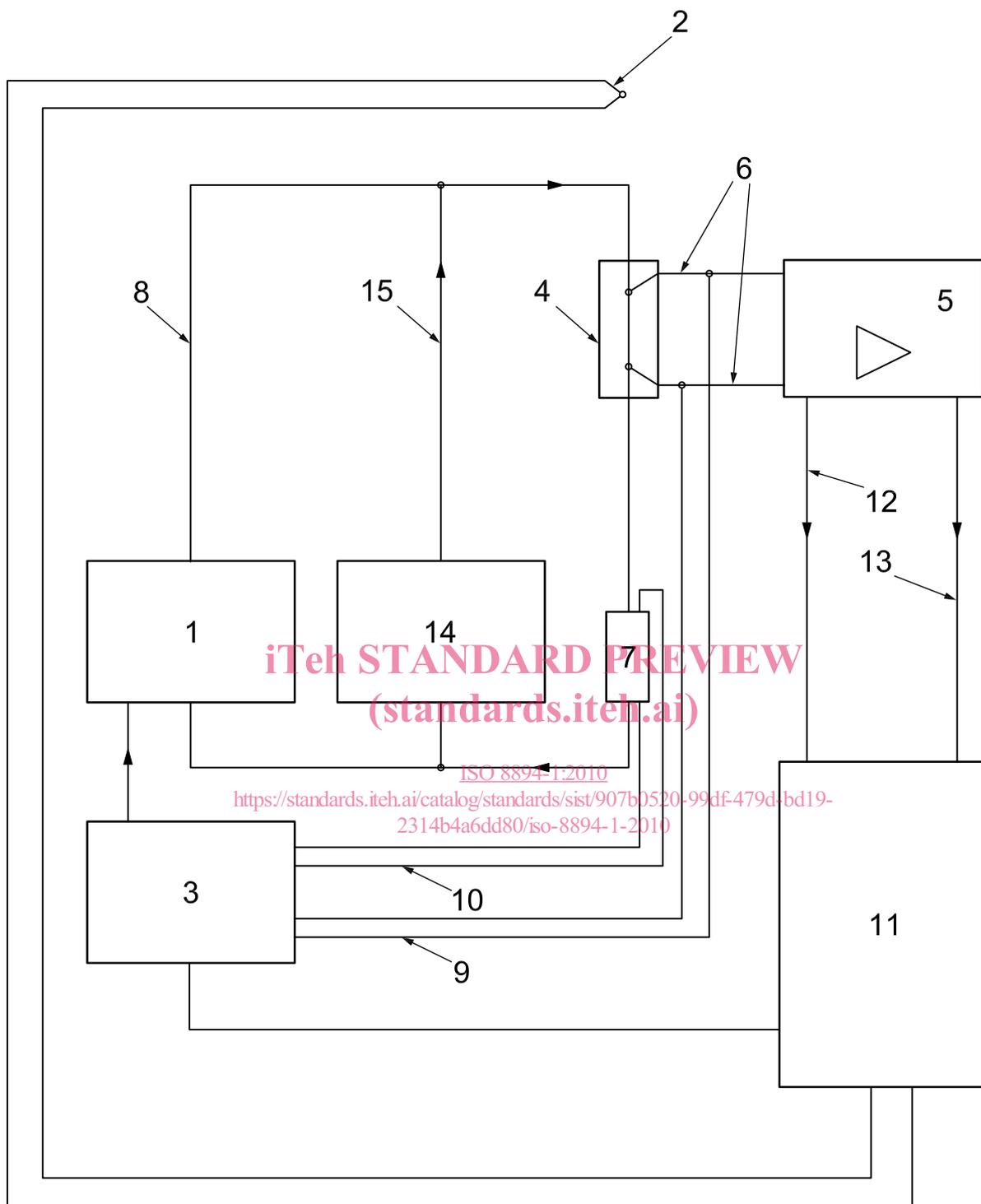
NOTE Un schéma fonctionnel d'un appareillage d'essai est présenté à la Figure 1 pour la méthode du «croisillon» et à la Figure 2 pour la méthode du «thermomètre à résistance».

**4.1 Four**, chauffé électriquement, à même de porter un ou plusieurs dispositifs d'essai (voir 5.1) à la température d'essai maximale requise. La température en deux points quelconques de la zone occupée par les éprouvettes ne doit pas différer de plus de 10 K. La température mesurée à l'extérieur du dispositif d'essai ne doit pas varier de plus de  $\pm 0,5$  K au cours d'un essai (d'une durée de 15 min environ) et doit être connue avec une précision de  $\pm 10$  K.

**Légende**

- |   |   |    |   |
|---|---|----|---|
| 1 | alimentation du fil chaud; courant alternatif 1 kHz | 8  | circuit chauffant                             |
| 2 | thermocouple de référence $T_r$                     | 9  | bornes de prise de tension                    |
| 3 | unité de contrôle de puissance du fil chaud         | 10 | mesure du courant                             |
| 4 | dispositif d'essai                                  | 11 | système d'aquisition de données et ordinateur |
| 5 | soudure froide des thermocouples                    | 12 | signal absolu ( $T_i$ )                       |
| 6 | mesure du thermocouple $T_i$                        | 13 | signal différentiel ( $T_i - T_r$ )           |
| 7 | shunt   |    |   |

**Figure 1 — Schéma fonctionnel de l'appareillage pour la méthode du «croisillon»**



**Légende**

- |   |   |    |  |
|---|---|----|--|
| 1 | alimentation du fil chaud; courant alternatif 1 kHz | 9  | mesure de la tension du courant alternatif     |
| 2 | thermocouple  | 10 | mesure du courant alternatif                   |
| 3 | unité de contrôle de puissance du fil chaud         | 11 | système d'acquisition de données et ordinateur |
| 4 | dispositif d'essai                                  | 12 | signal absolu R                                |
| 5 | amplificateur                                       | 13 | signal différentiel $\Delta R$                 |
| 6 | bornes de prise de tension                          | 14 | source de courant continu 100 mA               |
| 7 | shunt   | 15 | circuit de mesure de résistance                |
| 8 | circuit chauffant                                   |    |  |

**Figure 2 — Schéma fonctionnel de l'appareillage pour la méthode du «thermomètre à résistance»**

**4.2 Fil chaud**, de préférence en platine ou en platine rhodié, d'une longueur minimale équivalente à celle de l'éprouvette et d'un diamètre inférieur ou égal à 0,5 mm. Les deux extrémités du fil chaud sont reliées à la source de courant (4.4). Localisées à l'extérieur du dispositif, les conducteurs se composent d'au moins deux fils étroitement torsadés de 0,5 mm de diamètre. À l'extérieur du four, les connexions des fils d'alimentation doivent être réalisées à l'aide de câbles pour courant fort.

**4.3 Bornes de prise de tension**, réalisés dans le même matériau que le fil chaud. Il convient de placer dans l'éprouvette les connexions soudées au fil chaud, à une distance d'environ  $200 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ . Le diamètre des connexions ne doit pas excéder celui du fil chaud. Les deux extrémités des bornes de prise de tension sont reliées à l'unité de contrôle de puissance (4.6).

**4.4 Alimentation** au fil chaud (4.2). Pour un chauffage électrique du fil chaud durant une mesure unique (6.7), une alimentation adéquate est requise.

**4.4.1** Pour la méthode du «croisillon», l'alimentation doit être stabilisée en courant alternatif ou continu, mais de préférence en courant alternatif, et ne doit pas varier en puissance de plus de 2 % au cours de la période de mesure. Elle doit être variable entre 1 W/m et 20 W/m. Cela équivaut à 0,2 W à 4 W entre les bornes de prise de tension pour une longueur de 200 mm (voir 6.5, Note).

**4.4.2** Pour la méthode du «thermomètre à résistance», l'alimentation doit être stabilisée en courant alternatif, et ne doit pas varier en puissance de plus de 2 % au cours de la période de mesure. Elle doit être variable entre 1 W/m et 125 W/m. Cela équivaut à 0,2 W et 25 W entre les bornes de prise de tension pour une longueur de 200 mm (voir 6.5, Note).

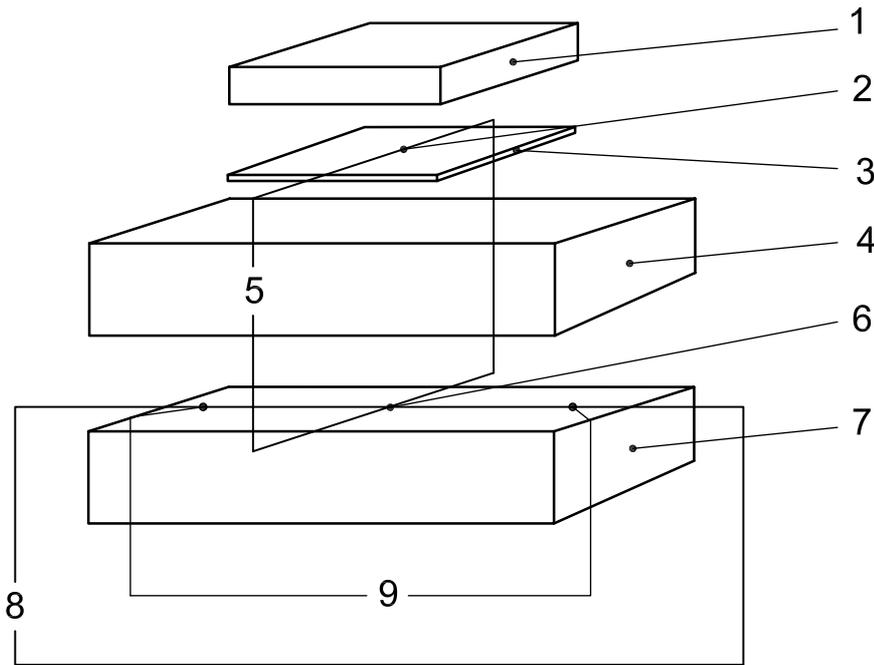
**4.5 Équipement pour le mesurage de l'élévation de la température du fil chaud.** Les modalités suivantes pour les méthodes du «croisillon» et du «thermomètre à résistance» doivent être appliquées.

**4.5.1 Méthode du «croisillon»** (standard métrologique). Utiliser un thermocouple différentiel en platine/platine-rhodium (type S: thermocouple de platine/platine à 10 % de rhodium, ou type R: thermocouple de platine/platine à 13 % de rhodium), constitué d'un thermocouple de mesure ( $T_i$ ) qui est soudé sur le fil chaud en son milieu et d'un thermocouple de référence ( $T_r$ ) connecté en opposition en dehors du four (voir Figure 1). Les fils du thermocouple de mesure doivent être perpendiculaires au fil chaud. Le signal du thermocouple de référence doit être maintenu stable, en plaçant le thermocouple entre la face extérieure du haut de l'éprouvette supérieure et un couvercle constitué d'un matériau identique à celui de l'éprouvette (voir Figure 3). Le diamètre maximal des fils du thermocouple de mesure ne doit pas être supérieur au diamètre du fil chaud (afin de réduire au minimum la perte de chaleur par conduction au niveau du point de mesure) et les fils des deux thermocouples doivent être assez longs pour que les connexions vers l'appareil de mesure au moyen de fils de nature différente de celle du thermocouple, puissent être réalisées à l'extérieur du four. Les connexions extérieures des thermocouples doivent être isothermes. Le thermocouple de mesure ( $T_i$ ) doit être utilisé pour indiquer la température du dispositif d'essai.

NOTE 1 Une couche isolante peut être insérée entre le thermocouple de référence et l'éprouvette supérieure.

NOTE 2 Pour le fil chaud, on peut utiliser des bornes de prise de tension et des thermocouples en métal courant à des températures inférieures à  $1\,000 \text{ °C}$ .

NOTE 3 Le thermocouple de référence ( $T_r$ ) peut être remplacé en cas d'utilisation d'un système d'acquisition de données offrant une résolution suffisante.

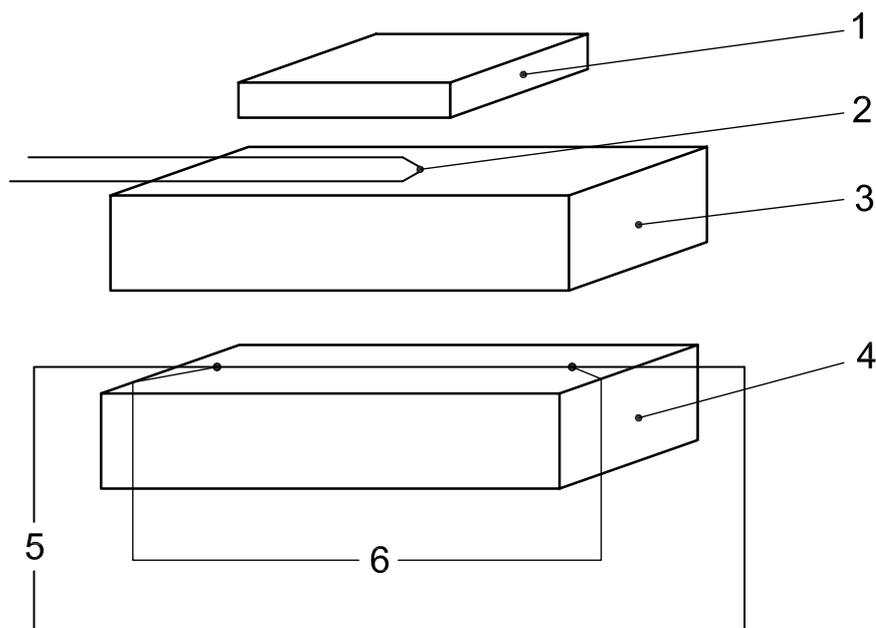


**Légende**

- |   |                                 |   |                              |
|---|---------------------------------|---|------------------------------|
| 1 | couverture                      | 6 | thermocouple de mesure $T_i$ |
| 2 | thermocouple de référence $T_r$ | 7 | échantillon                  |
| 3 | couche isolante facultative     | 8 | circuit de chauffage         |
| 4 | échantillon                     | 9 | bornes de prise de tension   |
| 5 | circuit de mesure différentiel  |   |                              |

ISO 8894-1:2010  
**Figure 3 — Positionnement du circuit de chauffage et du circuit de mesure (circuit du thermocouple différentiel) pour la méthode du «croisillon»**

**4.5.2 Méthode du «thermomètre à résistance.** Pour mesurer la variation de la résistance du fil chaud, un faible courant continu constant (par exemple 100 mA) est superposé au courant de chauffage (courant alternatif). La variation de la chute de tension de courant continu entre les bornes de prise de tension constitue une mesure de la variation de la température du fil chaud (voir Figure 2). Pour indiquer la température du dispositif d'essai, un thermocouple séparé [par exemple le thermocouple de référence ( $T_r$ )] doit être utilisé (voir 4.5.1). La disposition du fil chaud et du thermocouple est illustrée à la Figure 4. Étant donné que la résistance du fil chaud au cours du mesurage ne varie qu'à l'intérieur de la plage de parties par million (ppm) comparée à sa résistance absolue, un système d'acquisition de données offrant une résolution suffisante doit être utilisé.



#### Légende

- 1 couverture
- 2 thermocouple
- 3 éprouvette
- 4 éprouvette
- 5 fil chaud
- 6 bornes de prise de tension

iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

ISO 8894-1:2010  
Figure 4 — Positionnement du circuit de chauffage et du thermocouple pour le thermomètre à résistance

**4.6 Unité de contrôle de puissance du fil chaud**, ou appareil similaire, pouvant être associé à une alimentation constante (4.4), utilisé pour la mesure du courant dans le fil chaud et de la différence de potentiel, et permettant la mesure de ces deux grandeurs avec une précision de  $\pm 0,5$  % au moins.

**4.7 Système d'acquisition de données**, comprenant un dispositif d'enregistrement température-temps, avec au moins une sensibilité de  $2 \mu\text{V}/\text{cm}$  ou de  $0,05 \mu\text{V}/\text{chiffre}$ , ou une mesure de la température à  $0,01 \text{ K}$  ou mieux et avec une résolution du temps meilleure que  $0,5 \text{ s}$ .

**4.8 Conteneurs**, à utiliser si l'essai est effectué sur matériaux en poudres ou en grains, ayant des dimensions internes égales à celles du dispositif pour éprouvette solide spécifiées à l'Article 5, de sorte que le dispositif d'essai soit constitué des deux éléments spécifiés en 5.1. Le conteneur inférieur doit avoir quatre côtés et un fond, et le conteneur supérieur seulement quatre côtés et un couvercle amovible (voir Figure 5).

Il convient que les conteneurs soient constitués d'un matériau qui ne réagisse pas avec l'éprouvette à la température d'essai et non conducteur de l'électricité.