

---

---

**Céramiques techniques — Renfort  
de céramiques composites —  
Détermination de la distribution  
de la résistance en traction et de  
la déformation à la rupture en  
traction de filaments dans un fil  
multifilamentaire à température  
ambiante**

iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

*Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) —  
Reinforcement of ceramic composites — Determination of  
distribution of tensile strength and tensile strain to failure of  
filaments within a multifilament tow at ambient temperature*

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

ISO 22459:2020

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/fla019d4-50fb-4e7d-bcb4-30bf0fbfedad/iso-22459-2020>



### DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2020

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  
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>Références normatives</b> .....	<b>1</b>
<b>3</b> <b>Termes et définitions</b> .....	<b>1</b>
<b>4</b> <b>Principe</b> .....	<b>2</b>
<b>5</b> <b>Signification et usage</b> .....	<b>3</b>
<b>6</b> <b>Appareillage</b> .....	<b>3</b>
6.1    Équipement pour les essais de traction.....	3
6.2    Enregistrement des données.....	4
<b>7</b> <b>Éprouvette</b> .....	<b>4</b>
7.1    Généralités.....	4
7.2    Éprouvette de type à fenêtre.....	4
7.3    Éprouvette de type à extrémité cylindrique.....	5
<b>8</b> <b>Préparation des éprouvettes</b> .....	<b>5</b>
8.1    Généralités.....	5
8.2    Éprouvette de type à fenêtre.....	6
8.3    Éprouvette de type à extrémité cylindrique.....	6
8.4    Nombre d'éprouvettes.....	7
<b>9</b> <b>Mode opératoire d'essai</b> .....	<b>7</b>
9.1    Détermination de l'aire de la section transversale initiale.....	7
9.2    Détermination de la longueur de jauge.....	7
9.3    Prise en mors.....	7
9.4    Choix de la vitesse de déformation.....	8
9.5    Mode opératoire d'essai.....	8
9.6    Détermination de la complaisance du dispositif d'application de l'effort.....	8
9.7    Validité de l'essai.....	9
<b>10</b> <b>Calcul des résultats</b> .....	<b>9</b>
10.1    Calcul de la complaisance du dispositif d'application de l'effort $C_1$ .....	9
10.2    Calcul de la probabilité de rupture du filament $P_j$ à partir des essais sur des éprouvettes avec une longueur de jauge de 200 mm.....	11
10.2.1    Détermination de l'origine réelle.....	11
10.2.2    Construction de la courbe enveloppe et détermination de la complaisance instantanée $C_{t,j}$ .....	11
10.2.3    Probabilité de rupture du filament.....	12
10.3    Distribution de la déformation à la rupture du filament.....	12
10.3.1    Calcul de la déformation à la rupture du filament.....	12
10.3.2    Distribution de la déformation à la rupture du filament.....	12
10.4    Distribution de la résistance du filament.....	13
10.4.1    Aire de la section transversale initiale.....	13
10.4.2    Calcul de la résistance du filament.....	13
10.4.3    Distribution de la résistance du filament.....	14
10.4.4    Résistance moyenne du filament.....	14
10.4.5    Moyenne de la résistance du filament.....	15
<b>11</b> <b>Rapport d'essai</b> .....	<b>15</b>
<b>Annexe A (informative) Extrait du manuel des fonctions mathématiques</b> .....	<b>16</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>17</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 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](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.

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](http://www.iso.org/avant-propos).

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 206, *Céramiques techniques*.

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](http://www.iso.org/fr/members.html).

# Céramiques techniques — Renfort de céramiques composites — Détermination de la distribution de la résistance en traction et de la déformation à la rupture en traction de filaments dans un fil multifilamentaire à température ambiante

## 1 Domaine d'application

Le présent document spécifie les conditions de détermination de la distribution de la résistance et de la déformation à la rupture de filaments céramiques dans un fil multifilamentaire à température ambiante, en réalisant un essai de traction sur un fil multifilamentaire.

Ce document s'applique aux fils secs de filaments céramiques continus qui sont supposés se comporter librement et indépendamment sous charge et avoir un comportement linéaire élastique jusqu'à la rupture. Il ne faut pas confondre les résultats de cette méthode avec les résistances de fils imprégnés déterminées à l'aide de l'ISO 24046<sup>1)</sup>.

## 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 7500-1, *Matériaux métalliques — Étalonnage et vérification des machines pour essais statiques uniaxiaux — Partie 1: Machines d'essai de traction/compression — Étalonnage et vérification du système de mesure de force*

ISO 10119, *Fibre de carbone — Détermination de la masse volumique*

EN 1007-2, *Céramiques techniques avancées — Céramiques composites — Méthodes d'essai pour renforcements — Partie 2: Détermination de la masse linéique*

## 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

#### longueur de jauge

$L_0$

distance initiale entre deux points de référence sur le fil

Note 1 à l'article: Généralement, la longueur de jauge est considérée comme étant la distance entre les extrémités du fil prises en mors.

1) En cours d'élaboration.

**3.2**  
**aire de la section transversale initiale**

$S_0$   
aire de la section transversale du fil

**3.3**  
**allongement du fil**

$A$   
augmentation de la longueur de jauge pendant l'essai de traction

**3.4.1**  
**complaisance totale**

$C_t$   
rapport du déplacement mesuré à la force correspondante pendant l'essai de traction

**3.4.2**  
**complaisance du dispositif d'application de l'effort**

$C_1$   
rapport de l'allongement du dispositif d'application de l'effort, sans tenir compte de la contribution de l'éprouvette, à la force correspondante pendant l'essai de traction

**3.5**  
**déformation**

$\varepsilon$   
rapport de l'allongement du fil  $A$  à la longueur de jauge  $L_0$

**3.6**  
**déformation à la rupture du filament** (standards.iteh.ai)

$\varepsilon_{r,j}$   
déformation à l'étape  $j$  dans les parties non linéaires de la courbe force/déplacement

**3.7**  
**résistance du filament**

$\sigma_{r,j}$   
rapport de la force de traction à l'aire de la section transversale de tous les filaments non rompus à l'étape  $j$  dans les parties non linéaires de la courbe force/déplacement

**3.8**  
**résistance moyenne du filament**

$\bar{\sigma}_r$   
résistance statistique moyenne des filaments dans le fil pour chaque essai, déterminée à partir des paramètres de Weibull pour la distribution de la résistance des filaments

**3.9**  
**moyenne de la résistance du filament**

$\sigma_r$   
moyenne arithmétique des résistances moyennes

## 4 Principe

Un fil multifilamentaire est sollicité en traction à une vitesse de déplacement constante jusqu'à la rupture de tous les filaments composant le fil. La force et le déplacement sont mesurés et enregistrés. À partir de la courbe force/déplacement, la distribution de Weibull à deux paramètres de la déformation à la rupture et de la résistance des filaments est obtenue par échantillonnage des parties non linéaires de la courbe à des intervalles  $j$  discrets qui correspondent à un nombre croissant de filaments rompus dans le fil.

## 5 Signification et usage

Étant donné qu'il est difficile de mesurer la déformation sur le fil, celle-ci est habituellement obtenue indirectement par une mesure de complaisance qui inclut les contributions du dispositif d'application de l'effort, des mors et des matériaux des talons. Ces contributions doivent être corrigées lors de l'analyse. Lorsqu'il est possible de mesurer l'allongement du fil directement (à l'aide d'un extensomètre adapté), cette correction n'est pas nécessaire. Le calcul des résultats à l'[Article 10](#) s'applique aussi dans ce cas, en fixant la complaisance du dispositif d'application de l'effort à zéro.

La méthode d'évaluation repose sur une analyse du domaine non linéaire de la courbe force/déplacement qui est causé par la rupture progressive des filaments pendant l'essai. La taille de ce domaine augmente lorsque la rigidité du système de chargement et de prise en mors augmente. Lorsque la courbe force/déplacement ne présente pas ce domaine non linéaire, la méthode d'évaluation du présent document ne peut pas être appliquée.

La distribution des déformations à la rupture du filament ne dépend pas du nombre initial de filaments pour les fils qui contiennent un grand nombre de filaments; par conséquent, elle n'est pas affectée par le nombre de filaments qui sont rompus avant l'essai, à condition que ce nombre reste limité. La détermination de la distribution de la résistance des filaments nécessite de connaître l'aire de la section transversale initiale du fil. La variation du diamètre des filaments, qui affecte les valeurs de résistance, n'est pas prise en compte.

Il n'est pas possible de comparer directement les paramètres de Weibull déterminés au moyen de cette méthode d'essai et extrapolés à la longueur de jauge respective avec ceux obtenus à partir d'essais de traction sur des monofilaments selon l'ISO 19630 en raison de la variabilité des conditions d'essai<sup>[4]</sup>.

ITEH STANDARD PREVIEW

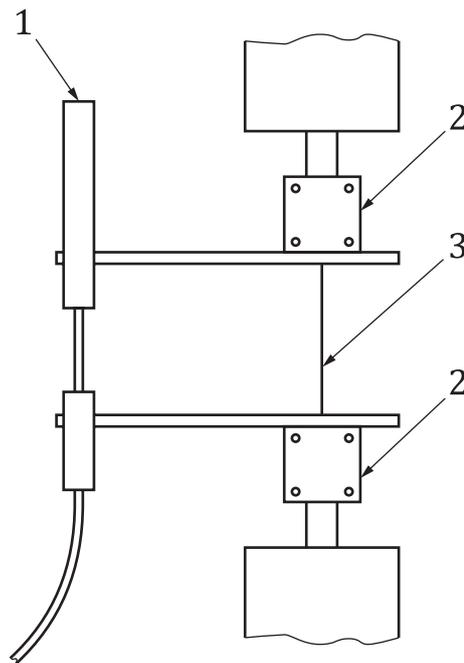
## 6 Appareillage (standards.iteh.ai)

### 6.1 Équipement pour les essais de traction

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/fla019d4-50fb-4e7d-bcb4->

La machine d'essai doit être munie d'un système de mesure de la force appliquée à l'éprouvette et du déplacement, ou directement de l'allongement du fil. La machine doit être au moins de classe 1 selon l'ISO 7500-1. Les mors doivent maintenir l'éprouvette alignée avec la direction de l'effort. Il faut éviter tout glissement de l'éprouvette dans les mors.

NOTE L'utilisation d'un capteur de déplacement placé aux extrémités des mors<sup>[5][6]</sup> (voir la [Figure 1](#)) ou sur le fil lui-même<sup>[4][5][6]</sup> limitera probablement la contribution des différentes parties du dispositif d'application de l'effort au déplacement mesuré, et donc augmentera la précision.



**Légende**

- 1 capteur de déplacement
- 2 mors
- 3 éprouvette

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

**Figure 1 — Montage d'essai (schéma de principe)**

ISO 22459:2020

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/fla019d4-50fb-4e7d-bcb4-30bf0fbfedad/iso-22459-2020>

**6.2 Enregistrement des données**

Un enregistreur étalonné doit être utilisé pour enregistrer les courbes force/déplacement. L'utilisation d'une chaîne d'acquisition de données numériques est recommandée.

**7 Éprouvette**

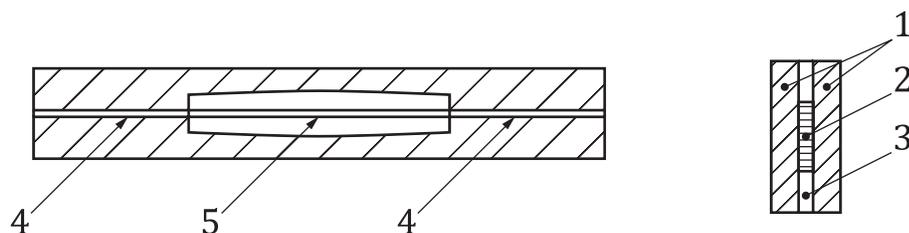
**7.1 Généralités**

Des éprouvettes ayant une longueur de jauge de 200 mm doivent être utilisées pour établir les distributions de la résistance du filament et de la déformation à la rupture du filament. Des éprouvettes ayant une longueur de jauge de 100 mm et 300 mm doivent être utilisées pour déterminer la complaisance du dispositif d'application de l'effort. Des exemples de deux types d'éprouvettes sont donnés ci-après.

**7.2 Éprouvette de type à fenêtre**

Une éprouvette de type à fenêtre est illustrée à la [Figure 2](#). Un fil tendu est fixé entre deux feuilles de matériau identiques comportant chacune une fenêtre centrale. Lorsque le déplacement n'est pas mesuré directement sur le fil, la hauteur de la fenêtre définit la longueur de jauge.

NOTE Ce type d'éprouvette a l'avantage d'être facile à manipuler.



### Légende

- 1 feuilles
- 2 fil
- 3 colle
- 4 extrémité fixée
- 5 longueur de jauge

Figure 2 — Éprouvette de type à fenêtre (schéma de principe, vue latérale)

## 7.3 Éprouvette de type à extrémité cylindrique

Une éprouvette de type à extrémité cylindrique est illustrée à la Figure 3. Les deux extrémités d'un fil tendu sont fixées dans des tubes cylindriques de petit diamètre, généralement en métal. Lorsque le déplacement n'est pas mesuré directement sur le fil, la distance entre les tubes lorsque le fil est à l'état tendu définit la longueur de jauge. La longueur du tube doit être telle que l'adhérence du fil au tube soit optimisée. Une longueur supérieure à 30 mm est recommandée.



### Légende

- 1 tube
- 2 longueur de jauge

Figure 3 — Éprouvette de type à extrémité cylindrique (schéma de principe)

## 8 Préparation des éprouvettes

### 8.1 Généralités

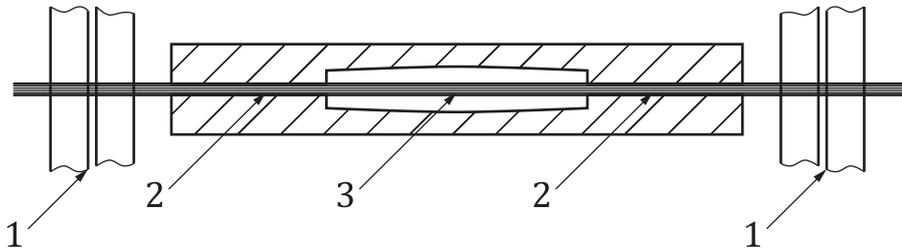
La préparation des éprouvettes doit se faire avec un soin extrême afin d'assurer la répétabilité du mode opératoire d'une éprouvette à l'autre. Lorsque de la colle est utilisée, le même type et la même longueur de collage doivent être utilisés pour la préparation de toutes les éprouvettes d'une série donnée. Les éprouvettes doivent être manipulées avec soin pour éviter de rompre les filaments.

Il est nécessaire d'assurer une bonne répétabilité de la préparation des éprouvettes, afin de permettre une détermination correcte de la complaisance du dispositif d'application de l'effort.

Un ensimage est présent sur certaines fibres. Il protège les filaments contre l'endommagement pendant la manipulation, ou évite le frottement entre les filaments pendant les essais. Il convient de ne pas l'éliminer. En raison de son faible module de Young, il ne contribue pas à la distribution de la charge. Il convient de veiller à ce que la colle ne se propage pas dans la partie du fil hors du cadre. L'utilisation d'une résine époxyde ou d'une résine présentant d'excellentes propriétés de mouillage avec les céramiques à base de SiC et d'alumine est appropriée.

### 8.2 Éprouvette de type à fenêtre

Un fil multifilamentaire non torsadé est collé entre deux feuilles identiques en carton ou en un autre matériau adapté. Les filaments doivent être tendus. Pour ce faire, les deux extrémités des deux feuilles sont bien imbibées de colle, puis le fil est placé sur l'axe central d'une des feuilles sous une légère précontrainte axiale. Les extrémités du fil s'étendant au-delà de la feuille sont fixées par des rubans adhésifs sur un support (voir la Figure 4) et les parties du fil situées dans la zone de prise en mors sont imbibées de colle. La seconde feuille est alors pressée face contre face sur la première.



**Légende**

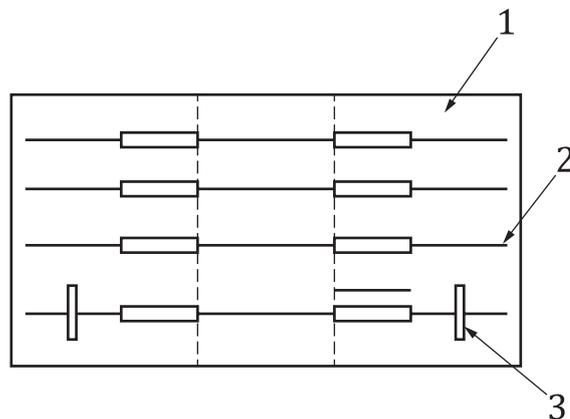
- 1 rubans adhésifs
- 2 extrémité fixée
- 3 longueur de jauge,  $L_0$

Figure 4 — Éprouvette de type à fenêtre, préparation (schéma de principe)

iTeh STANDARD PREVIEW

### 8.3 Éprouvette de type à extrémité cylindrique (standards.iteh.ai)

Les éprouvettes sont préparées sur un support muni de rainures d'alignement dans lesquelles les tubes cylindriques sont placés. Le fil multifilamentaire non torsadé est introduit dans les tubes, tendu et collé (voir la Figure 5). Le diamètre des tubes cylindriques doit être aussi petit que possible et compatible avec la taille du fil.



**Légende**

- 1 support
- 2 rainure d'alignement
- 3 rubans adhésifs

Figure 5 — Éprouvette de type à extrémité cylindrique, préparation (schéma de principe)

## 8.4 Nombre d'éprouvettes

Pour l'établissement de la distribution de la résistance du filament et de la déformation à la rupture du filament, il est nécessaire de réaliser trois essais valides, comme spécifié en 9.7, sur des éprouvettes ayant une longueur de jauge de 200 mm. Lorsque l'allongement du fil n'est pas mesuré directement, trois essais valides supplémentaires aux deux autres longueurs de jauge de 100 mm et 300 mm, comme spécifié en 9.7, sont nécessaires pour l'établissement de la complaisance du dispositif d'application de l'effort.

## 9 Mode opératoire d'essai

### 9.1 Détermination de l'aire de la section transversale initiale

Pour déterminer la distribution de la résistance des filaments, ainsi que le module élastique sur les éprouvettes avec une longueur de jauge de 200 mm, l'aire de la section transversale initiale du fil multifilamentaire doit être calculée à partir de la masse linéique déterminée selon l'EN 1007-2 et à partir de la masse volumique déterminée selon l'ISO 10119. L'aire de la section transversale initiale peut également être déterminée en mesurant le nombre et le diamètre moyen des filaments dans le fil, par exemple par analyse d'image.

### 9.2 Détermination de la longueur de jauge

La longueur de jauge doit être mesurée avec une précision de  $\pm 0,5$  mm.

### 9.3 Prise en mors

L'éprouvette doit être placée dans l'équipement d'essai de manière que son alignement axial soit aussi précis que possible. Pendant la prise en mors, il faut veiller à ne pas appliquer un effort de traction sur l'éprouvette. Lorsque le déplacement n'est pas mesuré directement sur le fil, l'éprouvette doit être insérée dans les mors de manière que la distance entre les mors soit inférieure ou égale à la longueur de jauge (voir la Figure 6).