

---

---

**Céramiques techniques (céramiques avancées, céramiques techniques avancées) — Propriétés mécaniques des céramiques composites à température ambiante et à pression atmosphérique — Détermination des propriétés en traction circonférentielle de tubes**

*Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) — Mechanical properties of ceramic composites at ambient temperature in air atmospheric pressure — Determination of hoop tensile properties of tubes*

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

ISO 21971:2019

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7dbe081e-8327-49db-97d0-76795bc725c3/iso-21971-2019>



### DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2019

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

<b>Avant-propos</b> .....	<b>v</b>
<b>1 Domaine d'application</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Références normatives</b> .....	<b>1</b>
<b>3 Termes et définitions</b> .....	<b>1</b>
<b>4 Principe</b> .....	<b>3</b>
<b>5 Appareillage</b> .....	<b>4</b>
5.1 Système de pressurisation.....	4
5.2 Fixation de l'éprouvette et bouchon d'extrémité.....	5
5.3 Mesure de la déformation.....	5
5.3.1 Généralités.....	5
5.3.2 Jauges de déformation.....	5
5.3.3 Corrélation d'images numériques.....	6
5.4 Systèmes d'enregistrement de la pression et des données.....	7
5.5 Mesure des dimensions.....	7
<b>6 Éprouvette tubulaire</b> .....	<b>7</b>
6.1 Spécifications des éprouvettes.....	7
6.1.1 Généralités.....	7
6.1.2 Dimension.....	8
6.1.3 Géométrie.....	8
6.1.4 Tolérances et variabilité.....	8
6.2 Préparation des éprouvettes.....	9
6.2.1 Généralités.....	9
6.2.2 Éprouvettes brutes de fabrication.....	9
6.2.3 Recours à un usinage de surface conforme à l'application.....	9
6.2.4 Pratiques routinières.....	9
6.2.5 Procédure normalisée.....	9
6.3 Comptage des essais et échantillonnage des éprouvettes.....	10
<b>7 Mode opératoire pour la conduite d'essai</b> .....	<b>10</b>
7.1 Généralités.....	10
7.2 Pilotage et vitesses d'essai.....	10
7.3 Conduite de l'essai.....	10
7.3.1 Mesure des dimensions de l'éprouvette.....	10
7.3.2 Instrumentation de l'éprouvette.....	10
7.3.3 Réglage des instruments de mesure de la déformation.....	10
7.3.4 Mesures.....	11
7.3.5 Analyses post-essai.....	12
7.4 Validité de l'essai.....	12
<b>8 Calcul des résultats</b> .....	<b>13</b>
8.1 Repérage de l'éprouvette.....	13
8.2 Contrainte et déformation en traction circonférentielle.....	13
8.3 Résistance en traction circonférentielle et déformation correspondante.....	14
8.4 Coefficient de proportionnalité ou module pseudo-élastique dans la direction circonférentielle.....	14
8.4.1 Courbes contrainte-déformation avec une partie linéaire.....	14
8.4.2 Courbes contrainte-déformation sans partie linéaire.....	15
8.5 Coefficient de Poisson (facultatif).....	15
8.6 Statistiques.....	15
<b>9 Rapport d'essai</b> .....	<b>16</b>
9.1 Généralités.....	16
9.2 Informations relatives aux essais.....	16
9.3 Éprouvette et matériau.....	16

## ISO 21971:2019(F)

9.3.1	Dessin de l'éprouvette tubulaire ou référence à un plan technique.....	16
9.3.2	Description du matériau d'essai.....	16
9.4	Équipements et paramètres d'essai.....	17
9.5	Résultats de l'essai.....	17
<b>Bibliographie.....</b>		<b>18</b>

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

ISO 21971:2019

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7dbe081e-8327-49db-97d0-76795bc725c3/iso-21971-2019>

## 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).

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

ISO 21971:2019

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7dbe081e-8327-49db-97d0-76795bc725c3/iso-21971-2019>

# Céramiques techniques (céramiques avancées, céramiques techniques avancées) — Propriétés mécaniques des céramiques composites à température ambiante et à pression atmosphérique — Détermination des propriétés en traction circonférentielle de tubes

## 1 Domaine d'application

Le présent document spécifie les conditions de détermination des propriétés en traction circonférentielle de tubes composites à matrice céramique (CMC) avec renfort de fibres continues à température ambiante et à pression atmosphérique. Il s'applique exclusivement aux tubulaire dont la géométrie est étroitement liée à la nature de l'architecture fibreuse.

Le présent document donne des informations sur le comportement en traction circonférentielle et sur les propriétés associées comme la résistance et la déformation en traction circonférentielle et les constantes élastiques. Les informations peuvent être utilisées pour le développement de matériaux, le contrôle de fabrication (assurance qualité), la comparaison de matériaux, la caractérisation ou encore pour la production de données fiables pour le dimensionnement et la conception de composants tubulaires.

Le présent document traite, sans s'y limiter, de pièces pouvant être élaborées par différentes voies. Il s'applique principalement aux tubes de céramique et/ou en verre matrice céramique avec renfort de fibres continues: unidirectionnel (enroulement filamentaire et disposition en bande 1D), bidirectionnel (tressage et tissage 2D), et tridirectionnel (xD, avec  $2 < x < 3$ ) soumis à une pression interne.

Les valeurs figurant dans le présent document sont exprimées selon le système international d'unités (SI).

## 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 3611, *Spécification géométrique des produits (GPS) — Équipement de mesure dimensionnel: Micromètres d'extérieur — Caractéristiques de conception et caractéristiques métrologiques*

ISO 20507, *Céramiques techniques — Vocabulaire*

ASTM E2208-02, *Standard Guide for Evaluating Non-Contacting Optical Strain Measurement Systems.*

## 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et les définitions de l'ISO 20507 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 <http://www.electropedia.org/>

**3.1  
longueur utile**

$l$

partie de l'éprouvette où le *diamètre extérieur* (3.3) est le plus faible et est uniforme

**3.2  
longueur de jauge**

$L_0$

distance initiale entre les points de référence dans la *longueur utile* (3.1) de l'éprouvette

**3.3  
diamètre extérieur**

$d_o$

distance du segment passant par le centre du tube reliant deux points diamétralement opposés situés sur la face extérieure du tube dans la *longueur de jauge* (3.2)

**3.4  
diamètre intérieur**

$d_i$

distance du segment passant par le centre du tube reliant deux points diamétralement opposés situés sur la face intérieure du tube dans la *longueur de jauge* (3.2)

**3.5  
épaisseur de paroi**

$h$

distance entre les *diamètres* (3.4) et *extérieur* (3.3) dans la *longueur de jauge* (3.2)

**3.6  
déformation en traction circonférentielle**

$\epsilon_{\theta\theta}$

allongement relatif dans la direction circonférentielle dans la *longueur de jauge* (3.2)

**3.7  
déformation axiale**

$\epsilon_{zz}$

allongement relatif dans la direction axiale (ou longitudinale) dans la *longueur de jauge* (3.2)

**3.8  
contrainte en traction circonférentielle**

$\sigma_{\theta\theta}$

contrainte supportée par l'éprouvette à tout instant de l'essai dans la direction circonférentielle

**3.9  
pression à rupture**

$P_F$

pression interne la plus élevée enregistrée, subie par l'éprouvette lors de l'essai conduit jusqu'à la rupture

**3.10  
résistance en traction circonférentielle**

$\sigma_{\theta\theta,m}$

contrainte en traction circonférentielle (3.8) calculée à la pression à rupture (3.9)

**3.11  
coefficient de proportionnalité ou module pseudo-élastique dans la direction circonférentielle**

$EP_{\theta\theta}$

pente de la partie linéaire initiale de la courbe contrainte-déformation

Note 1 à l'article: L'examen des courbes contrainte-déformation des composites à matrice céramique conduit à définir les cas suivants:

- a) Matériau présentant une zone linéaire initiale dans la courbe contrainte-déformation.

Le coefficient de proportionnalité ou module pseudo-élastique est appelé module élastique dans la direction circonférentielle,  $E_{\theta\theta}$ , dans le seul cas où la linéarité est très proche de l'origine.

- b) Matériau présentant une courbe contrainte-déformation non linéaire.

Dans ce cas, seuls des couples contrainte-déformation peuvent être fixés.

### 3.12 coefficient de Poisson

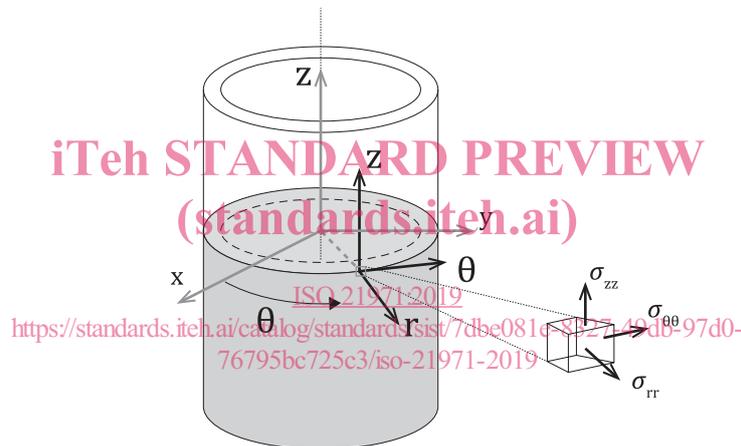
$\nu_{\theta z}$   
rapport négatif de la déformation circonférentielle à la *déformation axiale* (3.7)

### 3.13 système de coordonnées

système utilisé pour déterminer une position dans l'espace

Note 1 à l'article: Les coordonnées cylindriques sont adoptées dans le présent document.

Note 2 à l'article: Les notations présentées sur la [Figure 1](#) s'appliquent pour une représentation dans l'espace.



#### Légende

- z axial  
r radial  
 $\theta$  circonférentiel

**Figure 1 — Système de coordonnées cylindriques utilisé pour les tubes CMC**

## 4 Principe

Une éprouvette tubulaire de dimensions spécifiées, préalablement préparée et insérée dans un dispositif d'essai approprié est sollicitée en pression interne via un chargement monotone indirecte jusqu'à rupture. Une pression radiale uniforme est produite par l'injection d'huile hydraulique via un piston dans une vessie élastomère placée dans l'éprouvette tubulaire. La vessie élastomère est ajustée au diamètre intérieur de l'éprouvette tubulaire, provoquant ainsi sa dilatation sous la pression. L'essai est réalisé à une vitesse de déplacement du piston constant ou à déformation constante (ou à une vitesse d'effort constante). La pression appliquée et la déformation en traction circonférentielle résultante sont mesurées et enregistrées simultanément. La résistance en traction circonférentielle et la déformation correspondante sont déterminées à partir de la pression à rupture, les autres propriétés mesurées en traction circonférentielle sont déterminées à partir de la courbe de réponse déformation en fonction de la contrainte.

En général, l'essai est effectué dans des conditions de température et d'environnement ambiantes.

NOTE 1 La force résultant de la charge de pression interne est appliquée dans la direction radiale. Le terme «monotone» désigne une vitesse d'essai continue ininterrompue sans retour en arrière jusqu'à la rupture.

NOTE 2 La méthode décrite dans le présent document ne couvre pas la possibilité d'appliquer une pressurisation de l'éprouvette via la compression d'un matériau élastomère dense, sans fluide.

## 5 Appareillage

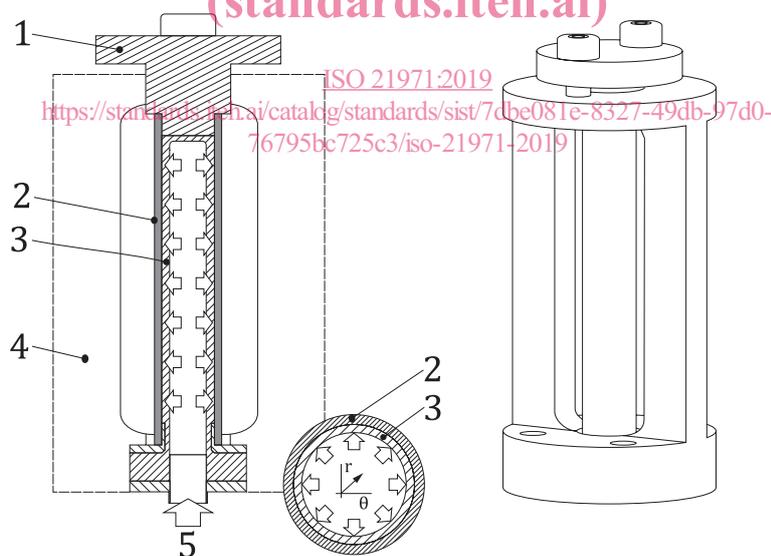
### 5.1 Système de pressurisation

Le système de pressurisation doit être capable d'appliquer une pression interne croissante, continue et uniforme à l'éprouvette tubulaire.

L'équipement suivant est recommandé pour cet essai:

- un réservoir d'huile (ou d'un autre fluide) maintenu à une température uniforme;
- une vessie élastomère annulaire et étanche épousant parfaitement la périphérie intérieure de l'éprouvette tubulaire, permettant de transmettre une pression uniforme par sa dilatation élastique;
- une machine d'essai (ou une presse) capable d'appliquer une force de compression sur un piston, libre de se déplacer verticalement, pour pressuriser l'huile contenue dans la vessie élastomère.

La [Figure 2](#) montre un exemple schématique illustrant le principe d'un tel système de pressurisation.



#### Légende

- 1 bride de serrage
- 2 éprouvette tubulaire
- 3 vessie élastomère
- 4 support de maintien de l'éprouvette
- 5 entrée d'huile pour la pressurisation ( $P$ )

Figure 2 — Exemple de système de pressurisation hydrostatique pour éprouvette tubulaire CMC

## 5.2 Fixation de l'éprouvette et bouchon d'extrémité

Le dispositif de fixation doit être capable de maintenir l'éprouvette tubulaire en position pour résister à la pression interne induite par la dilatation de la vessie élastomère tout en lui permettant de se déplacer radialement. Un exemple de construction d'un tel dispositif est représenté [Figure 2](#) dans lequel l'éprouvette tubulaire est montée sur un support de maintien. Une bride de serrage est fixée sur ce support avec deux vis pour obtenir un alignement correct.

La nature fragile des CMC nécessite une attention particulière pour réduire le plus possible l'initiation de fissures, voire d'une rupture. Par conséquent, il est recommandé de desserrer les vis de fixation lors de la mise en place de l'éprouvette, puis de les ajuster jusqu'à la mise en contact de la bride de serrage avec le tube, sans lui appliquer une quelconque force axiale.

Le bouchon d'extrémité doit être capable de résister à la pression d'essai maximum. Ce bouchon doit être conçu de manière à ne pas provoquer de fissuration au sein de l'éprouvette.

## 5.3 Mesure de la déformation

### 5.3.1 Généralités

Il convient de mesurer la déformation de manière locale afin d'éviter de devoir prendre en compte la complaisance de la machine. Cela peut se faire au moyen de jauges de déformation résistives encollées appropriées ou encore par corrélation d'images (DIC). Si le coefficient de Poisson doit être déterminé, l'éprouvette tubulaire doit être équipée d'instruments de mesure de déformation dans les directions longitudinale et circonférentielle.

### 5.3.2 Jauges de déformation (standards.iteh.ai)

#### 5.3.2.1 Sélection des jauges de déformation

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7dbe081e-8327-49db-97d0->

Il convient de préparer les surfaces d'éprouvette, de choisir les jauges de déformation ainsi que le type de colle de façon adaptée pour obtenir de bonnes performances sur les matériaux soumis à essai.

Quelques lignes directrices concernant l'utilisation de jauges de déformation sur tubes CMC sont données ci-après.

Excepté s'il est démontré que la déformation mesurée à l'aide d'une jauge n'est pas indûment influencée par la présence de singularités locales telles que des croisements de fils, il convient que les jauges de déformation présentent une longueur de jauge active supérieure à au moins trois motifs élémentaires représentatifs (unités de répétition) du renfort, cela à la fois dans la direction longitudinale et circonférentielle. Cela permet de moyenniser les effets de déformation locale au niveau des croisements de fil notamment.

Sollicitée en pression interne, une jauge dont le motif comporterait une seule grille peut normalement être utilisée en veillant à respecter le bon alignement entre l'axe de la jauge et la direction circonférentielle de l'éprouvette tubulaire.

NOTE Le coefficient de Poisson peut être déterminé au moyen de rosettes biaxiales (0-90) à deux éléments qui permettent la mesure des déformations à la fois dans les directions longitudinale et circonférentielle.

#### 5.3.2.2 Préparation de la surface

Les surfaces d'ordinaire rugueuses des composites requièrent souvent de procéder à une préparation préalable avant de coller la jauge de déformation. La préparation doit au minimum inclure les étapes suivantes: dégraissage à l'aide d'un solvant, polissage ou remplissage et nettoyage.

Les surfaces riches en matrice peuvent généralement être polies avec du papier abrasif en carbure de silicium grain de 320 (SCP-2) pour obtenir un fini mat satisfaisant. Toutefois, excepté si les surfaces ont été usinées ou ont reçu un traitement de lissage, les éprouvettes tubulaires de composites faiblement