
**Céramiques techniques — Propriétés
mécaniques des céramiques composites
à haute température — Détermination
des caractéristiques en compression**

*Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) —
Mechanical properties of ceramic composites at high temperature —
Determination of compression properties*

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 14544:2013

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/44cbf265-3b21-4ea7-8ba4-c40cd8ea53d4/iso-14544-2013>



iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

ISO 14544:2013

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/44cbf265-3b21-4ea7-8ba4-c40cd8ea53d4/iso-14544-2013>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2013

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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, l'affichage sur l'internet ou sur un Intranet, sans autorisation écrite préalable. Les demandes d'autorisation peuvent être adressées 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 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 Principe	3
5 Appareillage	4
5.1 Machine d'essai.....	4
5.2 Système d'application d'effort.....	4
5.3 Enceinte d'essai étanche.....	5
5.4 Dispositif de chauffage.....	5
5.5 Extensomètre.....	5
5.6 Mesure des températures.....	6
5.7 Système d'enregistrement de données.....	6
5.8 Micromètres.....	6
6 Éprouvettes	6
6.1 Généralités.....	6
6.2 Éprouvettes pour essais de compression entre plateaux.....	6
6.3 Éprouvettes utilisées avec mors.....	8
7 Préparation des éprouvettes	11
7.1 Usinage et préparation.....	11
7.2 Nombre d'éprouvettes.....	11
8 Modes opératoires	11
8.1 Configuration d'essai: considérations sur la température.....	11
8.2 Configuration d'essai: autres considérations.....	12
8.3 Technique de l'essai.....	12
8.4 Validité de l'essai.....	13
9 Calcul des résultats	14
9.1 Origine des éprouvettes.....	14
9.2 Résistance en compression.....	14
9.3 Déformation à la force maximale de compression.....	14
9.4 Coefficient de proportionnalité ou module pseudo-élastique, module élastique.....	15
10 Rapport d'essai	16
Annexe A (normative) Flambage: Comment procéder lorsque le flambage est suspecté	17
Bibliographie	18

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 procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/CEI, 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/CEI, Partie 2, www.iso.org/directives.

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. 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 sur la liste ISO des déclarations de brevets reçues, www.iso.org/brevets.

Les éventuelles appellations commerciales utilisées dans le présent document sont données pour information à l'intention des utilisateurs et ne constituent pas une approbation ou une recommandation.

Le comité chargé de l'élaboration du présent document est l'ISO/TC 206, *Céramiques techniques*.

[ISO 14544:2013](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/44cbf265-3b21-4ea7-8ba4-c40cd8ea53d4/iso-14544-2013)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/44cbf265-3b21-4ea7-8ba4-c40cd8ea53d4/iso-14544-2013>

Céramiques techniques — Propriétés mécaniques des céramiques composites à haute température — Détermination des caractéristiques en compression

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie les conditions de détermination des caractéristiques en compression des matériaux composites à matrice céramique et à renfort continu pour des températures allant jusqu'à 2 000 °C.

La présente Norme internationale s'applique à tous les composites à matrice céramique à renfort continu, unidirectionnel (1D), bidirectionnel (2D), et tridirectionnel (xD, avec $2 < x \leq 3$) sollicités suivant un axe principal de renfort.

Deux cas de compression sont distingués:

- a) la compression entre plateaux;
- b) la compression entre mors.

2 Références normatives

Les documents suivants, en tout ou partie, sont référencés de manière normative dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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 mesurage dimensionnel: Micromètres d'extérieur — Caractéristiques de conception et caractéristiques métrologiques*

ISO 7500-1:2004, *Matériaux métalliques — Vérification des machines pour essais statiques uniaxiaux — Partie 1: Machines d'essai de traction/compression — Vérification et étalonnage du système de mesure de force*

EN 10002-4, *Matériaux métalliques — Essai de traction — Partie 4: Vérification des extensomètres utilisés dans les essais uniaxiaux*

CEN/TS 15867:2009, *Céramiques techniques avancées — Céramiques composites — Guide pour déterminer le degré de non-alignement lors des essais mécaniques uniaxiaux*

CEI 60584-1:1995, *Couples thermoélectriques — Partie 1: Tables de référence*

CEI 60584-2:1982, *Couples thermoélectriques — Partie 2: Tolérances*

CEI 60584-2:1982, *Amendement 1:1989*

3 Termes et définitions

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

3.1

température d'essai

T

température de l'éprouvette au centre de la longueur de jauge

3.2
longueur calibrée

l
partie de l'éprouvette où la section transversale est la plus faible et est uniforme

3.3
longueur de jauge

L_0
distance initiale entre les points de référence dans la longueur calibrée de l'éprouvette

3.4
zone de température contrôlée

partie de la longueur calibrée, incluant la longueur de jauge, où l'écart de température par rapport à la température d'essai est inférieur à 50 °C

3.5
section initiale

A_0
section initiale de l'éprouvette dans la longueur calibrée, à la température d'essai

Note 1 à l'article: Deux sections initiales de l'éprouvette peuvent être définies comme suit.

3.5.1
section apparente

section totale de l'éprouvette, $A_{0,a}$

3.5.2
section effective

section totale corrigée d'un facteur, prenant en compte la présence d'un traitement anti-oxydation, $A_{0,e}$

3.6
accourcissement

ΔL
diminution sous une sollicitation de compression de la longueur de jauge L entre les points de référence

3.7
déformation en compression

ε
modification relative de la longueur de jauge définie par le rapport $\Delta L/L_0$

Note 1 à l'article: La valeur correspondant à la force de compression maximale doit être notée $\varepsilon_{c,m}$.

3.8
contrainte en compression

σ
force de compression supportée par l'éprouvette à chaque instant de l'essai, divisée par la section initiale (A_0)

Note 1 à l'article: Deux contraintes en compression peuvent être définies:

— contrainte en compression apparente, σ_a , lorsque la section apparente (ou section totale) est utilisée;

— contrainte en compression effective, σ_e , lorsque la section effective est utilisée.

3.9
force maximale de compression

F_m
force de compression la plus haute enregistrée, atteinte par l'éprouvette lors d'un essai de compression réalisé jusqu'à rupture

3.10 résistance en compression

 $\sigma_{c,m}$

quotient de la force maximale de compression (F_m) par la section initiale (A_0)

Note 1 à l'article: Deux résistances en compression peuvent être définies:

— résistance en compression apparente, $\sigma_{c,m,a}$, lorsque la section apparente (ou section totale) est utilisée;

— résistance en compression effective, $\sigma_{c,m,e}$, lorsque la section effective est utilisée.

3.11 coefficient de proportionnalité ou module pseudo-élastique

 E_p

pente de la partie linéaire de la courbe contrainte-déformation, si elle existe

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 dans la courbe contrainte-déformation.

Pour les matériaux composites à matrice céramique dont le comportement mécanique est caractérisé par une zone linéaire, le coefficient de proportionnalité est défini par:

$$E_p(\sigma_1, \sigma_2) = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \quad (1)$$

où $(\varepsilon_1, \sigma_1)$ et $(\varepsilon_2, \sigma_2)$ caractérisent les points proches de la limite inférieure et de la limite supérieure de la partie linéaire de la courbe contrainte-déformation.

Le coefficient de proportionnalité ou module pseudo-élastique est appelé module élastique, E , dans le seul cas où le matériau a un comportement linéaire dès l'origine.

b) Matériau présentant un comportement contrainte-déformation non linéaire.

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

Deux coefficients de proportionnalité ou modules pseudo-élastiques peuvent être définis:

— coefficient de proportionnalité apparent, $E_{p,a}$, lorsque la contrainte en compression apparente est utilisée;

— coefficient de proportionnalité effectif, $E_{p,e}$, lorsque la contrainte en compression effective est utilisée.

4 Principe

Une éprouvette de dimensions spécifiées est portée à la température d'essai, puis soumise à un essai de compression. L'essai est réalisé à vitesse constante de déplacement de la traverse, ou à vitesse constante de déformation. La force et la variation de longueur de jauge (déformation longitudinale) sont mesurées et enregistrées simultanément.

NOTE 1 La durée d'essai est limitée afin de réduire les effets du fluage.

NOTE 2 Un essai à vitesse constante de chargement n'est autorisé que dans le cas où le comportement contrainte-déformation est linéaire jusqu'à la rupture.

NOTE 3 Pour protéger les outillages, il est recommandé d'utiliser une vitesse de déplacement constante de la traverse lorsque l'essai est réalisé jusqu'à rupture.

5 Appareillage

5.1 Machine d'essai

La machine doit être équipée d'un système de mesure de la force appliquée à l'éprouvette qui doit être de classe 1 ou mieux, conformément à l'ISO 7500-1.

NOTE Il convient que cette exigence reste vraie dans les conditions d'essai (par exemple pression et température du gaz).

5.2 Système d'application d'effort

Le système d'application d'effort doit être tel que la charge indiquée par la cellule d'effort et la charge supportée par l'éprouvette soient les mêmes.

La performance du système d'application d'effort, y compris le système d'alignement et le système de transmission d'effort, ne doit pas être modifiée du fait du chauffage.

Le système d'application d'effort doit aligner l'axe de l'éprouvette avec la direction de chargement, sans que l'éprouvette ne soit soumise à une charge de flexion ou de torsion. Le défaut d'alignement de l'éprouvette doit être vérifié et documenté conformément à la procédure décrite dans la CEN/TS 15867:2009. Le pourcentage maximal de flexion ne doit pas dépasser 5 pour une déformation moyenne de 500×10^{-6} .

NOTE 1 Il convient que l'alignement soit vérifié et documenté, par exemple, conformément à la procédure décrite dans la CEN/TS 15867:2009.

Deux modes d'application d'effort sont possibles:

- a) Des plateaux de compression sont fixés sur la cellule d'effort et sur la traverse mobile. Le parallélisme entre ces plateaux doit être meilleur que 0,01 mm, dans la zone d'application de l'effort, à la température ambiante et les plateaux doivent être perpendiculaires à la direction de chargement.

NOTE 1 L'utilisation de plateaux n'est pas recommandée pour les matériaux 1D et 2D de faible épaisseur à cause du flambage.

NOTE 2 Pour les matériaux qui ne sont pas macroscopiquement homogènes, il est possible d'utiliser une interface souple entre l'éprouvette et les plateaux pour assurer une pression de contact régulière. Il convient que ce matériau d'interface soit chimiquement compatible avec les matériaux de l'éprouvette et des plateaux.

- b) Des mors sont utilisés pour fixer et charger l'éprouvette.

Les mors utilisés doivent être conçus de manière à éviter tout glissement de l'éprouvette. Ils doivent permettre l'alignement de l'axe de l'éprouvette avec la direction de la force appliquée.

NOTE 3 Il convient de vérifier et de documenter la conformité à cette exigence en utilisant, par exemple, la procédure décrite dans la Référence [1].

NOTE 4 Les mors ou les plateaux peuvent se trouver dans la zone chaude ou dans la zone froide du four.

NOTE 5 Lorsque les mors ou les plateaux sont à l'extérieur du four, il existe un gradient de température entre le centre de l'éprouvette qui est à la température spécifiée et les extrémités qui sont à la même température que les mors ou les plateaux.

5.3 Enceinte d'essai étanche

Une enceinte d'essai étanche pourrait être utilisée dans le cas suivant.

L'enceinte étanche doit permettre le contrôle de l'environnement au voisinage de l'éprouvette pendant l'essai. L'installation doit être telle que la variation de charge due à la variation de pression soit inférieure à 1 % de l'échelle de la cellule d'effort utilisée.

Si une atmosphère gazeuse est utilisée, elle doit être choisie en fonction du matériau à soumettre à essai et en fonction de la température d'essai. Le niveau de pression doit être choisi en fonction du matériau soumis à essai, de la température, du gaz et du type d'extensométrie.

Si une enceinte à vide est utilisée, le niveau de vide ne doit pas induire d'instabilités chimiques et/ou physiques du matériau et des tiges de l'extensomètre, le cas échéant.

5.4 Dispositif de chauffage

Le dispositif de chauffage doit être construit de sorte que le gradient de température dans la longueur de jauge soit inférieur à 20 °C à la température d'essai.

5.5 Extensomètre

L'extensomètre doit être capable d'enregistrer en continu la variation de longueur de jauge à la température d'essai.

NOTE 1 Il est recommandé d'utiliser un extensomètre ayant une longueur de jauge la plus grande possible.

La tolérance de linéarité doit être inférieure ou égale à 0,15 % de la plage d'utilisation de l'extensomètre.

L'extensomètre doit être conforme à la classe 1 ou mieux de l'EN 10002-4. Deux types d'extensomètres sont couramment utilisés: l'extensomètre mécanique et l'extensomètre électro-optique.

Si un extensomètre mécanique est utilisé, la longueur de jauge doit correspondre à la distance initiale entre les deux points où les tiges de l'extensomètre touchent l'éprouvette.

Les tiges de l'extensomètre peuvent être exposées à des températures supérieures à la température de l'éprouvette. La précision de la mesure de la déformation ne doit pas être perturbée par des modifications de la structure du matériau des tiges dues à la température et/ou à l'environnement. Le matériau utilisé pour les tiges doit être compatible avec le matériau des éprouvettes.

NOTE 2 Il convient de veiller à corriger les variations de l'étalonnage de l'extensomètre qui pourraient survenir du fait que l'appareil fonctionne dans des conditions différentes de celles de l'étalonnage.

NOTE 3 Il convient de régler la pression des tiges sur l'éprouvette au minimum nécessaire pour éviter qu'elles ne glissent.

Si un extensomètre électro-optique est utilisé, des mesures électro-optiques en transmission nécessitent la présence de pions de référence sur l'éprouvette. Dans ce cas, des pions ou des cibles doivent être fixés en surface perpendiculairement à l'axe. La longueur de jauge doit être la distance entre les deux pions de référence. Le matériau utilisé pour les pions (et éventuellement la colle) doit être compatible avec le matériau de l'éprouvette et avec la température d'essai et ne doit pas modifier le champ de contrainte de l'éprouvette.

NOTE 4 L'utilisation de pions intégrés dans la géométrie de l'éprouvette n'est pas recommandée du fait des concentrations de contrainte induites par ces particularités.

NOTE 5 L'utilisation de l'extensomètre électro-optique n'est pas recommandée s'il est impossible de faire la distinction entre la couleur des pions de référence et celle de l'éprouvette.

5.6 Mesure des températures

Pour la mesure des températures, des thermocouples conformes à la CEI 60584-1 et à la CEI 60584-2 doivent être utilisés; si des thermocouples non conformes à la CEI 60584-1 et à la CEI 60584-2 ou des pyromètres sont utilisés, les résultats de l'étalonnage doivent être joints au rapport d'essai.

5.7 Système d'enregistrement de données

Un enregistreur étalonné peut être utilisé pour enregistrer les courbes force-déformation de longueur de jauge. Cependant, l'utilisation d'une chaîne d'acquisition de données numériques couplée à un enregistreur analogique est recommandée.

5.8 Micromètres

Les micromètres utilisés pour le mesurage des dimensions de l'éprouvette doivent être conformes à l'ISO 3611.

6 Éprouvettes

6.1 Généralités

Le choix de la géométrie de l'éprouvette dépend de plusieurs paramètres tels que:

- la nature du matériau et la structure du renfort;
- le type de système de chauffage;
- le type du système d'application d'effort.

Le volume dans la longueur de jauge doit être représentatif du matériau, et la longueur calibrée doit être définie de façon à éviter toute rupture en flambage.

NOTE Il est recommandé d'utiliser un volume d'éprouvette correspondant à un minimum de 5 éléments de volume représentatif.

6.2 Éprouvettes pour essais de compression entre plateaux

L'éprouvette de type 1, couramment utilisée, est représentée à la [Figure 1](#).

Les dimensions recommandées sont données dans le [Tableau 1](#).

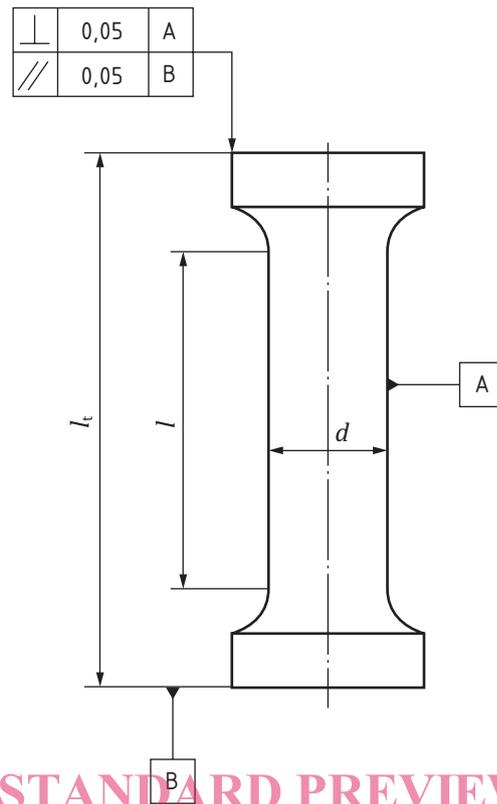


Figure 1 — Géométrie des éprouvettes de type 1

Tableau 1 — Dimensions recommandées des éprouvettes de type 1

ISO 14544:2013
 standards.iteh.ai
 c40cd8ea53d4/iso-14544-2013

Dimensions en millimètres

	2D et xD	Tolérance
l , longueur calibrée	≥ 15	$\pm 0,5$
l_t , longueur totale	$\geq 1,5 l$	$\pm 0,5$
d , diamètre de la section circulaire ou longueur du côté dans le cas de section carrée	≥ 8	$\pm 0,2$
r , rayon de raccordement	≥ 10	≥ 2
Parallélisme des parties usinées	0,05	
Perpendicularité des parties usinées	0,05	
Concentricité des parties usinées	0,05	

L'éprouvette de type 2, parfois utilisée, est représentée à la [Figure 2](#).

Les dimensions recommandées sont données dans le [Tableau 2](#).