



Norme
internationale

ISO 14544

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

Deuxième édition
2025-01

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

[ISO 14544:2025](https://standards.iteh.ai/ISO/14544:2025)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/1a99cd75-aa40-43a3-a8d0-3b35b47002af/iso-14544-2025>

iTeh Standards
(<https://standards.iteh.ai>)
Document Preview

[ISO 14544:2025](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/1a99cd75-aa40-43a3-a8d0-3b35b47002af/iso-14544-2025)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/1a99cd75-aa40-43a3-a8d0-3b35b47002af/iso-14544-2025>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2025

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
E-mail: copyright@iso.org
Web: www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos	v
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Principe	4
5 Appareillage	4
5.1 Machine d'essai	4
5.2 Système de mise en charge	4
5.3 Enceinte d'essai étanche au gaz	5
5.4 Dispositif de chauffe	5
5.5 Mesurage de la déformation	5
5.5.1 Généralités	5
5.5.2 Jauges de déformation	6
5.5.3 Extensomètre	6
5.6 Dispositifs de mesure des températures	7
5.7 Système d'enregistrement des données	7
5.8 Dispositifs de mesurage des dimensions	7
6 Éprouvettes	7
6.1 Généralités	7
6.2 Éprouvettes pour essais de compression entre plateaux	8
6.3 Éprouvettes utilisées avec des mors	9
7 Préparation des éprouvettes	11
7.1 Usinage et préparation	11
7.2 Nombre d'éprouvettes	12
8 Modes opératoires d'essai	12
8.1 Configuration d'essai: considérations relatives à la température	12
8.1.1 Généralités	12
8.1.2 Zone à température contrôlée	12
8.1.3 Étalonnage en température	12
8.2 Configuration d'essai: autres considérations	13
8.2.1 Vitesse de déplacement	13
8.2.2 Mesurage des dimensions des éprouvettes	13
8.2.3 Flambage	13
8.3 Technique de l'essai	14
8.3.1 Montage de l'éprouvette	14
8.3.2 Réglage de l'extensomètre	14
8.3.3 Mise sous atmosphère inerte	14
8.3.4 Chauffage de l'éprouvette	14
8.3.5 Mesurages	15
8.4 Validité de l'essai	15
9 Calcul des résultats	15
9.1 Origine des éprouvettes	15
9.2 Résistance en compression	16
9.3 Déformation à la force maximale de compression	16
9.4 Module de compression	16
9.4.1 Calcul du module de compression	16
9.4.2 Calcul du module de compression en cas de comportement linéaire à l'origine	17
9.4.3 Calcul du module de compression en cas de comportement non linéaire	17
10 Rapport d'essai	17
11 Incertitudes	18

ISO 14544:2025(fr)

Annexe A (informative) Illustration du module de compression	19
Annexe B (informative) Méthode d'étalonnage de la température d'essai à l'aide d'une éprouvette de cartographie équipée de thermocouples	22
Bibliographie	27

iTeh Standards (<https://standards.iteh.ai>) Document Preview

[ISO 14544:2025](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/1a99cd75-aa40-43a3-a8d0-3b35b47002af/iso-14544-2025)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/1a99cd75-aa40-43a3-a8d0-3b35b47002af/iso-14544-2025>

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).

L'ISO attire l'attention sur le fait que la mise en application du présent document peut entraîner l'utilisation d'un ou de plusieurs brevets. L'ISO ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à l'applicabilité de tout droit de brevet revendiqué à cet égard. À la date de publication du présent document, l'ISO n'avait pas reçu notification qu'un ou plusieurs brevets pouvaient être nécessaires à sa mise en application. Toutefois, il y a lieu d'avertir les responsables de la mise en application du présent document que des informations plus récentes sont susceptibles de figurer dans la base de données de brevets, disponible à l'adresse www.iso.org/brevets. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié tout ou partie de tels droits de brevet.

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/iso/fr/avant-propos.html.

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 206, *Céramiques techniques*, en collaboration avec le comité technique CEN/TC 184, *Céramiques techniques avancées*, du Comité européen de normalisation (CEN) conformément à l'Accord de coopération technique entre l'ISO et le CEN (Accord de Vienne).

Cette seconde édition annule et remplace la première édition (ISO 14544:2013), qui a fait l'objet d'une révision technique.

Les principales modifications sont les suivantes:

- alignement des termes et définitions sur la norme de vocabulaire (ISO 20507);
- ajout de l'illustration du module de compression à l'[Annexe A](#);
- ajout d'une méthode d'étalonnage de la température d'essai à l'aide d'une éprouvette de cartographie équipée de thermocouples à l'[Annexe B](#).

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.

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

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie des modes opératoires permettant de déterminer le comportement en compression des matériaux composites à matrice céramique avec renfort de fibres continues, à haute température sous air, sous vide ou dans une atmosphère de gaz inerte. Le présent document s'applique à tous les composites à matrice céramique avec renfort de fibres continues, unidirectionnel (1D), bidirectionnel (2D) et multidirectionnel (x D, avec $x > 2$), sollicités suivant un axe principal de renfort ou dans des conditions hors axe pour les matériaux de type 2D et x D. Il s'applique également aux composites à matrice de carbone avec renfort de fibres de carbone (également connus en tant que carbone/carbone ou C/C). Deux cas de compression sont distingués: la compression entre plateaux et la compression entre mors.

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 mesurage dimensionnel — Caractéristiques de conception et caractéristiques métrologiques des micromètres d'extérieur*

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 9513, *Matériaux métalliques — Étalonnage des chaînes extensométriques utilisées lors d'essais uniaxiaux*

ISO 19634, *Céramiques techniques — Céramiques composites — Notations et symboles*

ISO 20507, *Céramiques techniques — Vocabulaire*

IEC 60584-1, *Couples thermoélectriques — Partie 1: Spécifications et tolérances en matière de FEM*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'ISO 20507, de l'ISO 19634 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 <https://www.electropedia.org/>

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

[SOURCE: ISO 20504:2022, 3.1, modifié – Le terme «section de jauge» a été remplacé par «longueur calibrée».]

3.3
longueur de jauge

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

[SOURCE: ISO 20504:2022, 3.2, titre et définition modifiés – «initiale» a été supprimé dans le titre. «avant le début de l'essai» a été supprimé et «section de jauge» a été remplacé par «longueur calibrée» dans la définition.]

3.4
zone à 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
aire initiale de la section

S_0
aire de la section transversale de l'éprouvette dans la longueur calibrée, à température ambiante, avant l'essai

3.5.1
aire de section apparente

$S_{0\text{ app}}$
aire de la section transversale

3.5.2
aire de section effective

$S_{0\text{ eff}}$
aire corrigée d'un facteur, pour prendre en compte la présence d'un revêtement

3.6
accourcissement

A
diminution de la longueur de jauge sous une force de compression dans la direction de la charge

Note 1 à l'article: L'accourcissement correspondant à la force maximale de compression est désigné par $A_{c,m}$.

3.7
déformation en compression

ε
diminution relative de la longueur de jauge initiale, définie comme le rapport A/L_0

Note 1 à l'article: La déformation en compression correspondant à la force maximale de compression est désignée par $\varepsilon_{c,m}$.

3.8
force de compression

F_c
force uniaxiale supportée par l'éprouvette à tout moment pendant l'essai de compression

[SOURCE: ISO 20504:2022, 3.6, modifié – Le complément «de compression» a été ajouté.]

3.9

contrainte de compression

σ

force de compression (3.8) supportée par l'éprouvette à tout moment au cours de l'essai, divisée par l'aire initiale de la section (3.5), telle que $\sigma = F/S_0$

[SOURCE: ISO 20504:2022, 3.8]

3.9.1

contrainte de compression apparente

σ_{app}

rapport de la force de compression (3.8) supportée par l'éprouvette à l'aire de section apparente (3.5.1)

3.9.2

contrainte de compression effective

σ_{eff}

rapport de la force de compression (3.8) supportée par l'éprouvette à l'aire de section effective (3.5.2)

3.10

force maximale de compression

$F_{c,m}$

plus grande force enregistrée, ou force à la rupture, lors d'un essai de compression

3.11

résistance en compression

$\sigma_{c,m}$

contrainte de compression (3.9) la plus élevée appliquée à une éprouvette lors d'un essai de compression réalisé jusqu'à rupture

[SOURCE: ISO 20504:2022, 3.9]

3.11.1

résistance en compression apparente

$\sigma_{c,m app}$

rapport de la force maximale de compression (3.10) à l'aire de section apparente (3.5.1)

3.11.2

résistance en compression effective

$\sigma_{c,m eff}$

rapport de la force maximale de compression (3.10) à l'aire de section effective (3.5.2)

3.12

module de compression

E

pente de la partie linéaire de la courbe contrainte-déformation à l'origine ou près de l'origine

Note 1 à l'article: Il est possible que la partie linéaire n'existe pas ou ne commence pas à l'origine. Les différentes situations correspondant à ces cas sont décrites à l'Annexe A.

Note 2 à l'article: Deux modules de compression, dépendant de l'aire initiale de la section, peuvent être définis comme suit.

3.12.1

module de compression apparent

E_{app}

pente de la partie linéaire de la courbe contrainte-déformation à l'origine ou près de l'origine, lorsque la contrainte de compression apparente (3.9.1) est utilisée

3.12.2

module de compression effectif

E_{eff}

pente de la partie linéaire de la courbe contrainte-déformation à l'origine ou près de l'origine, lorsque la contrainte de compression effective (3.9.2) est utilisée

4 Principe

Une éprouvette de dimensions spécifiées est portée à la température d'essai, puis soumise à une charge de compression. L'essai est réalisé à vitesse constante de déplacement de la traverse, ou à vitesse constante de déformation (ou à vitesse constante de mise en charge). La force et l'accourcissement sont mesurés et enregistrés simultanément.

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

Lorsqu'une vitesse constante de mise en charge est utilisée dans la région non linéaire de la courbe de compression, l'essai permet d'obtenir uniquement la résistance en compression. Dans cette région, une vitesse constante de déplacement de la traverse ou une vitesse constante de déformation est recommandée pour obtenir la courbe complète.

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.

Il convient que cette exigence reste vraie dans les conditions réelles de l'essai (par exemple, pression et température du gaz).

5.2 Système de mise en charge

La configuration du système de mise en charge doit garantir que la charge indiquée par la cellule de force et la charge supportée par l'éprouvette sont les mêmes.

Le chauffage ne doit pas modifier la performance du système de mise en charge, système d'alignement et système de transmission d'effort compris.

Le système de mise en charge doit aligner l'axe de l'éprouvette avec la direction d'application de la force, sans provoquer d'efforts de flexion ou de torsion dans l'éprouvette. Le défaut d'alignement de l'éprouvette doit être vérifié à température ambiante et documenté. Plusieurs normes traitent de ce sujet; toutefois il est recommandé de se conformer au mode opératoire décrit dans l'ISO 17161. Le pourcentage de déformation en flexion ne doit pas dépasser 5 % pour une déformation moyenne de 500×10^{-6} .

Deux modes d'application de la charge sont possibles:

- a) Des plateaux de compression sont fixés à la cellule de force et sur la traverse mobile. Il convient que le diamètre des plateaux soit supérieur à celui de la base de l'éprouvette. Il convient que l'écart de parallélisme entre ces plateaux soit inférieur ou égal à 0,01 mm dans la zone de mise en charge à température ambiante, et les plateaux doivent être perpendiculaires à la direction de chargement.

L'utilisation de plateaux n'est pas recommandée pour soumettre à l'essai de compression les matériaux 1D et 2D de faible épaisseur à cause du flambage. Dans le cas de montages destinés aux essais à haute température, il est parfois difficile de déterminer la valeur du parallélisme des plateaux spécifiée dans l'ISO 20504 par des contrôles dimensionnels; cette valeur n'en constitue pas moins une recommandation utile.

Pour les essais de 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 le matériau d'interface soit chimiquement compatible avec les matériaux de l'éprouvette et des plateaux.

- b) Des mors sont utilisés pour fixer l'éprouvette et la mettre en charge.

Leur conception doit empêcher l'éprouvette de glisser et permettre l'alignement de l'axe de l'éprouvette avec la direction de la force appliquée.

Il convient de vérifier et de documenter la conformité à cette exigence en se référant, par exemple, au mode opératoire décrit dans la Référence [1].

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

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 au gaz

L'enceinte étanche doit permettre un contrôle adéquat 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 de force utilisée.

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

Si une enceinte à vide est utilisée, le niveau de vide ne doit pas induire d'instabilités chimiques et/ou physiques du matériau des éprouvettes et des tiges de l'extensomètre, le cas échéant. Un vide primaire (en général, une pression de 1 Pa) est recommandé.

5.4 Dispositif de chauffe

Il est recommandé que le dispositif de chauffe soit conçu de sorte que:

- la température maximale de l'échantillon pour essai ne dépassera jamais la température d'essai souhaitée de plus de 5 °C,
- la longueur de jauge soit effectivement incluse dans la zone à température contrôlée.

NOTE 1 Lorsque les essais sont réalisés sous vide ou dans une atmosphère de gaz inerte, ce gradient de température maximal de 50 °C dans la zone à température contrôlée est considéré comme suffisamment faible pour éviter de grandes différences de comportement des matériaux dans la longueur de jauge et fausser ainsi la détermination des propriétés du matériau.

NOTE 2 Cette valeur de 50 °C constitue une valeur maximale du gradient de température de la zone à température contrôlée en particulier pour les essais à très haute température dans une configuration d'essai en mors froids. Si les essais sont réalisés à des températures plus basses, un gradient de température inférieur à 50 °C peut être facilement atteint.

Pour les matériaux composites à matrice céramique qui sont sensibles à la dégradation oxydative, si les essais sont réalisés dans un environnement oxydant, la durée de l'essai et les paramètres du gradient thermique de la zone à température contrôlée doivent être fixés aux valeurs les plus basses possibles afin de limiter l'impact de la dégradation oxydative sur les propriétés du matériau. Par exemple, pour les matériaux tels que les composites à matrice céramique comprenant une interphase de carbone qui sont sensibles à la dégradation chimique, il est recommandé de ne pas dépasser ± 5 °C en dessous de 500 °C pour le gradient de température à l'intérieur de la zone à température contrôlée.

NOTE 3 Un exemple de méthode d'étalonnage de la température d'essai et de détermination du gradient de température est décrit à l'Annexe B.

5.5 Mesurage de la déformation

5.5.1 Généralités

Pour le mesurage en continu de l'accourcissement en fonction de la force appliquée à haute température, il est admis d'utiliser un extensomètre approprié, à contact ou sans contact. Il est recommandé de mesurer l'accourcissement sur une longueur aussi grande que possible dans la zone à température contrôlée de l'éprouvette.