

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60672-2

Deuxième édition
Second edition
1999-12

**Matériaux isolants à base de céramique
ou de verre –**

**Partie 2:
Méthodes d'essai**

Ceramic and glass insulating materials –

**Part 2:
Methods of test**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60672-2:1999

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- **«Site web» de la CEI***
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement
(Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates

(On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC

60672-2

Deuxième édition
Second edition
1999-12

**Matériaux isolants à base de céramique
ou de verre –**

**Partie 2:
Méthodes d'essai**

Ceramic and glass insulating materials –

**Part 2:
Methods of test**

© IEC 1999 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembeé Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

X

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	6
Articles	
1 Domaine d'application	10
2 Références normatives	10
3 Remarques générales sur les essais	12
4 Essai de pénétration au colorant (absorption de liquide)	16
5 Masse volumique brute et porosité ouverte (apparente)	18
6 Résistance à la flexion	24
7 Module d'élasticité	32
8 Coefficient moyen de dilatation linéaire thermique	40
9 Capacité calorifique spécifique	44
10 Conductivité thermique	46
11 Tenue aux chocs thermiques	48
12 Température de transition vitreuse (pour les matériaux en verre uniquement)	52
13 Rigidité diélectrique	54
14 Tension de tenue	60
15 Permittivité relative, coefficient de température de permittivité et facteur de dissipation	62
16 Résistivité transversale	66
Annexe A (normative) Conditions standard de température pour les essais	84
Bibliographie	86
Figure 1 – Appareillage pour appliquer la haute pression à une solution colorante contenue dans un récipient métallique.....	70
Figure 2 – Fonctionnement des dispositifs d'essai mécaniques pour les essais de résistance (voir également la note en 6.2)	72
Figure 3 – Forme, symboles et dimensions des éprouvettes d'essai de résistance en flexion.....	74
Figure 4 – Paramètres de déflexion et méthode de détermination des flèches pour déterminer le module de Young.....	76
Figure 5 – Construction graphique pour déterminer la température de transition vitreuse T_g pour les verres	78
Figure 6 – Eprouvette pour les essais de rigidité diélectrique et de tension de tenue, méthode B (voir article 13)	80
Figure 7 – Disposition des électrodes pour la mesure de la rigidité diélectrique, méthode A.	82

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7
Clause	
1 Scope	11
2 Normative references	11
3 General notes on tests	13
4 Dye penetration test (liquid absorption)	17
5 Bulk density and open (apparent) porosity	19
6 Flexural strength	25
7 Modulus of elasticity	33
8 Mean coefficient of linear thermal expansion	41
9 Specific heat capacity	45
10 Thermal conductivity	47
11 Resistance to thermal shock	49
12 Glass transition temperature (for glass materials only)	53
13 Electric strength	55
14 Withstand voltage	61
15 Relative permittivity, temperature coefficient of permittivity and dissipation factor	63
16 Volume resistivity	67
Annex A (normative) Standard temperature conditions for testing	85
Bibliography	87
Figure 1 – Apparatus for applying high pressure to dye solution contained in a metal container	71
Figure 2 – Function of mechanical testing jigs and symbols for strength tests	73
Figure 3 – Shape, symbols and dimensions of flexural strength test pieces	75
Figure 4 – Deflection parameters and method of determination of deflections for Young's modulus determination	77
Figure 5 – Graphical construction for determination of transition temperature T_g of glasses .	79
Figure 6 – Test piece for electrical strength and withstand voltage tests, method B	81
Figure 7 – Electrode arrangement for electric strength measurement, method A	83

Tableau 1 – Caractéristiques et nombre minimal d'éprouvettes pour chaque essai	14
Tableau 2 – Densité de l'eau distillée	22
Tableau 3 – Dimensions des éprouvettes et dimensions des gabarits d'essai de contrainte en flexion pour les différentes classes de matériaux en céramique.....	28
Tableau 4 – Dimensions des éprouvettes pour la méthode B (voir également la figure 6)	56
Tableau 5 – Valeurs de k pour différentes valeurs d'épaisseur d'éprouvette	58
Tableau A.1 – Conditions standard de température pour les essais.....	84

	Page
Table 1 – Characteristics and minimum number of test pieces for each test	15
Table 2 – Density of distilled water	23
Table 3 – Dimensions of test pieces and flexural strength test jig for various groups of ceramic materials	29
Table 4 – Dimensions of test pieces for method B (see also figure 6)	57
Table 5 – Values of k for various values of thickness of test pieces	59
Table A.1 – Standard temperature conditions for testing	85

LICENSED TO MECON Limited, - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MATÉRIAUX ISOLANTS À BASE DE CÉRAMIQUE OU DE VERRE –

Partie 2: Méthodes d'essai

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Électrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60672-2 a été établie par le sous-comité 15C: Spécifications, du comité d'études 15 de la CEI: Matériaux isolants.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1980, dont elle constitue une révision technique. Le but a été d'améliorer les instructions concernant les méthodes d'essai, de façon que le document soit plus facile à utiliser dans un laboratoire d'essai. Certaines ambiguïtés concernant les conditions d'essai ont été supprimées, en particulier pour les essais mécaniques, pour lesquels des développements récents sur la compréhension des facteurs significatifs concernant ces essais ont permis une meilleure définition des caractéristiques et une limitation des dimensions initialement prévues pour les éprouvettes facultatives.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
15C/1049/FDIS	15C/1069/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 3.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

CERAMIC AND GLASS INSULATING MATERIALS –

Part 2: Methods of test

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60672-2 has been prepared by subcommittee 15C: Specifications, of IEC technical committee 15: Insulating materials.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1980 and constitutes a technical revision. In redrafting this standard, the intention has been to improve the instructions in the test methods so that the document becomes more usable in the testing laboratory. Some of the ambiguities of test conditions have been removed, particularly for mechanical testing for which the recent development of improved understanding of significant factors in testing has allowed a better definition of requirements and a restriction of the range of previously optional test piece sizes.

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
15C/1049/FDIS	15C/1069/RVD

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 3.

La CEI 60672 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général Matériaux isolants à base de céramique ou de verre:

Partie 1: 1995, Définitions et classification;

Partie 2: 1999, Méthodes d'essai;

Partie 3: 1997, Spécifications pour matériaux particuliers.

L'annexe A fait partie intégrante de cette norme.

Le comité a décidé que cette publication reste valable jusqu'en 2008. A cette date, selon décision préalable du comité, la publication sera

- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

IEC 60672 consists of the following parts under the general title Ceramic and glass insulating materials:

Part 1:1995, Definitions and classification;

Part 2:1999, Methods of test;

Part 3:1997, Specifications for individual materials.

Annex A forms an integral part of this standard.

The committee has decided that this publication remains valid until 2008. At this date, in accordance with the committee's decision, the publication will be

- reconfirmed;
- withdrawn;
- replaced by a revised edition, or
- amended.

MATÉRIAUX ISOLANTS À BASE DE CÉRAMIQUE OU DE VERRE –

Partie 2: Méthodes d'essai

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60672 s'applique à des matériaux à base de céramique, de verre et de verre-céramique destinés à être utilisés à des fins d'isolation électrique. Elle spécifie les méthodes d'essai. Elle est destinée à fournir des résultats d'essai qui sont représentatifs du matériau dans lequel les éprouvettes sont prises. Comme, dans la majorité des cas, les composants en céramique destinés à l'isolation électrique sont des éprouvettes de dimensions et de formes plutôt différentes, le résultat de tels essais fournit uniquement un guide pour les propriétés réelles des composants. Les limitations imposées par la méthode utilisée pour les former et les traiter sont étudiées en conséquence.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 60672. Pour les références datées, les amendements ultérieurs ou les révisions de ces publications ne s'appliquent pas. Toutefois, les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 60672 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Pour les références non datées, la dernière édition du document normatif en référence s'applique. Les membres de l'ISO et de la CEI possèdent le registre des Normes Internationales en vigueur.

CEI 60093:1980, *Méthodes pour la mesure de la résistivité transversale et de la résistivité superficielle des matériaux isolants électriques solides*

CEI 60212:1971, *Conditions normales à observer avant et pendant les essais de matériaux isolants électriques solides*

CEI 60243-1:1998, *Rigidité diélectrique des matériaux isolants – Méthodes d'essai – Partie 1: Essais aux fréquences industrielles*

CEI 60250:1969, *Méthodes recommandées pour la détermination de la permittivité et du facteur de dissipation des isolants électriques aux fréquences industrielles, audibles et radioélectriques (ondes métriques comprises)*

CEI 60345:1971, *Méthode d'essai pour la résistance d'isolement et la résistivité transversale des matériaux isolants à des températures élevées*

CEI 60672-1:1995, *Matériaux isolants à base de céramique ou de verre – Partie 1: Définitions et classification*

CEI 60672-3:1997, *Matériaux isolants à base de céramique ou de verre – Partie 3: Spécifications pour matériaux particuliers*

CEI 61006:1991, *Méthodes d'essai pour la détermination de la température de transition vitreuse des matériaux isolants électriques*

CERAMIC AND GLASS INSULATING MATERIALS –

Part 2: Methods of test

1 Scope

This part of IEC 60672 is applicable to ceramic, glass and glass-ceramic materials to be used for electrical insulation purposes. This standard specifies methods of test. It is intended to provide test results typical of the material from which the test pieces are processed. Since, in the majority of cases, ceramic components for insulating purposes are of rather different size and shape to test pieces, the results of such tests provide only a guide to the actual properties of components. The limitations imposed by the method of forming and processing are discussed where relevant.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 60672. For dated references, subsequent amendments to, or revisions of, any of these publications do not apply. However, parties to agreements based on this part of IEC 60672 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. For undated references, the latest edition of the normative document referred to applies. Members of ISO and IEC maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 60093:1980, *Methods of test for volume resistivity and surface resistivity of solid electrical insulating materials*

IEC 60212:1971, *Standard conditions for use prior to and during the testing of solid electrical insulating materials*

IEC 60243-1:1998, *Electric strength of insulating materials – Test methods – Part 1: Tests at power frequencies*

IEC 60250:1969, *Recommended methods for the determination of the permittivity and dielectric dissipation factor of electrical insulating materials at power, audio and radio frequencies, including metre wavelengths*

IEC 60345:1971, *Method of test for electrical resistance and resistivity of insulating materials at elevated temperatures*

IEC 60672-1:1995, *Ceramic and glass insulating materials – Part 1: Definitions and classification*

IEC 60672-3:1997, *Ceramic and glass insulating materials – Part 3: Specifications for individual materials*

IEC 61006:1991, *Methods of test for the determination of the glass transition temperature of electrical insulating materials*

ISO/DIS 463, *Spécification géométrique des produits (GPS) – Instruments de mesure dimensionnel – Comparateurs à cadran – Spécifications de conception et spécifications métrologiques* (révision de l'ISO/R 463:1965)¹⁾

ISO 758:1976, *Produits chimiques liquides à usage industriel – Détermination de la masse volumique à 20 °C*

ISO 3534-1:1993, *Statistiques – Vocabulaire et symboles – Partie 1: Probabilité et termes statistiques généraux*

ISO 3611:1978, *Micromètres d'extérieur*

ISO 6906:1984, *Pieds à coulisse à vernier au 1/50 mm*

ISO 7884-8:1987, *Verre – Viscosité et points viscosimétriques fixes – Partie 8: Détermination de la température de transformation (dilatométrique)* (Publiée actuellement en anglais seulement)

3 Remarques générales sur les essais

3.1 Epreuves

Le conditionnement des éprouvettes doit être effectué dans des conditions très similaires à celles qui sont normalement utilisées pour la fabrication des composants, et être en quantité suffisante pour être représentatives de ces conditions. Il faut souligner que les résultats obtenus à partir des éprouvettes subissent l'influence de la méthode utilisée pour les former, et aussi, dans beaucoup de cas, de la méthode utilisée pour la finition de surface; il convient que ces méthodes soient aussi proches que possible de celles qui sont utilisées pour la fabrication des articles. Pour chaque résultat d'essai noté, la méthode de fabrication des éprouvettes doit être spécifiée. Toutes les valeurs numériques déterminées selon ces méthodes d'essai ne s'appliquent qu'aux éprouvettes prescrites pour les essais. Elles ne peuvent pas être étendues aux éprouvettes et aux produits céramiques présentant d'autres formes et dimensions, ou provenant d'autres types de fabrication. Le nombre minimal d'éprouvettes pour chaque essai est donné dans le tableau 1.

NOTE Pour les éprouvettes en verre trempé par procédé thermique, l'état de précontrainte thermique du verre dépend des facteurs suivants:

- dilatation thermique au-dessous et au-dessus de la plage de transformation (voir la CEI 61006);
- relation viscosité/température;
- diffusibilité thermique c'est-à-dire conductivité thermique (capacité calorifique particulière × masse volumique brute);
- propriétés d'élasticité;
- température de début de refroidissement;
- coefficient de transfert calorifique;
- épaisseur et forme du produit en verre.

Etant donné l'influence du dernier facteur cité, des éprouvettes prises dans un même verre, mais ayant des formes et des épaisseurs différentes, ont des caractéristiques de trempage différentes bien qu'elles soient trempées dans des conditions identiques. Il est par conséquent impossible de définir une éprouvette particulière représentant des propriétés d'articles trempés, en ayant d'autres formes et d'autres épaisseurs. Par conséquent, les propriétés physiques des articles en verre à trempage thermique, servant à mettre en évidence les particularités correspondant à un état de trempage, ne peuvent se déterminer que sur l'article proprement dit et il est recommandé d'adopter cette procédure chaque fois que cela est possible. Cela s'applique particulièrement aux propriétés telles que la résistance à la flexion, la tenue au choc thermique, la résistivité volumique et le facteur de dissipation.

¹⁾ A publier.

ISO/DIS 463, *Geometrical product specifications (GPS) – Dimensional measuring instruments – Dial gauges – Design and metrological requirements* (Revision of ISO/R 463:1965) ¹⁾

ISO 758:1976, *Liquid chemical products for industrial use – Determination of density at 20 °C*

ISO 3534-1:1993, *Statistics – Vocabulary and symbols – Part 1: Probability and general statistical terms*

ISO 3611:1978, *Micrometer callipers for external measurement*

ISO 6906:1984, *Vernier callipers reading to 0,02 mm*

ISO 7884-8:1987, *Glass – Viscosity and viscometric fixed points – Part 8: Determination of (dilatometric) transformation temperature*

3 General notes on tests

3.1 Test pieces

Test pieces shall be processed under conditions closely similar to those normally employed for the manufacture of components, and in sufficient numbers to be representative of those conditions. It is emphasized that results from the test pieces are affected by the method of forming and, in many cases, by the method of surface finishing; methods used should, as far as possible, be those used in the production of items. For each test result reported, the method of manufacture of the test piece shall be specified. All numerical values determined according to these test methods apply only to the test pieces prescribed. They cannot be extended to test pieces and ceramic products of other shapes and dimensions nor of other types of manufacture. The minimum number of test pieces for each test is given in table 1.

NOTE For thermally toughened glass test pieces, the thermally pre-stressed state of glass depends on the following factors:

- thermal expansion below and above the transition range (see IEC 61006);
- viscosity/temperature relation;
- thermal diffusivity, i.e. thermal conductivity (specific heat capacity × bulk density);
- elastic properties;
- starting temperature of cooling;
- heat transfer coefficient;
- thickness and form of glass product.

As a result of the last factor, test pieces from the same glass but of different shape and thickness have different tempering levels, although they are tempered under the same conditions. Consequently, it is impossible to have a special test piece which represents the properties of toughened glass items of other shapes and thickness. Therefore, physical properties of thermally tempered glass items which show corresponding dependence on the tempering state can be determined only on the item itself, and it is recommended that this procedure is adopted whenever possible. This applies to properties such as flexural strength, resistance to thermal shock, volume resistivity and dissipation factor.

¹⁾ To be published.

Tableau 1 – Caractéristiques et nombre minimal d'éprouvettes pour chaque essai

Article	Essai	Nombre d'éprouvettes	Forme et dimensions
4	Essai de pénétration au colorant	3	Fragments ou petites pièces; voir 4.2
5	Masse volumique brute Porosité apparente	3	Fragments ou petites pièces; voir 5.2, note
6	Résistance à la flexion	10	Voir tableau 3
7	Module d'élasticité	3	En forme de barre, de préférence avec un rapport supérieur à 50 entre l'écartement du support et l'épaisseur; voir 7.3
8	Coefficient moyen de dilatation linéaire thermique	2	Approprié à l'appareil utilisé
9	Capacité calorifique spécifique	2	Approprié à l'appareil utilisé
10	Conductivité thermique	2	Approprié à l'appareil utilisé, voir 10.2
11	Chocs thermiques	30	Barre de 10 mm de diamètre × 120 mm de longueur
12	Température de transition vitreuse (T_g , pour les verres uniquement)	2	Approprié à l'appareil utilisé
13	Rigidité diélectrique	10	Disques comme décrits en 13.3
14	Tension de tenue	10	Disques comme décrits en 13.3
15	Permittivité relative/ facteur de dissipation	3	Disques conformes à la CEI 60250, comme indiqué à l'article 15
16	Résistivité volumique	2	Disques conformes à la CEI 60345, comme indiqué à l'article 16

3.2 Présentation des résultats

Le rapport d'essai doit comporter les points suivants:

- nom de l'établissement d'essai;
- une référence à la présente norme;
- la date de l'essai;
- l'identification du matériau et de la pièce en essai (type, fabricant, processus de mise en forme, numéro de lot, date de fabrication, etc., selon ce qui est approprié);
- l'essai réalisé;
- le conditionnement des éprouvettes, leur forme, leurs dimensions et le nombre d'éprouvettes ayant subi l'essai (voir le tableau 1 pour le nombre minimal de chaque essai);
- des informations sur l'essai ou les essais entrepris (voir les caractéristiques indiquées pour chaque méthode d'essai);
- les résultats individuels concernant chaque éprouvette;
- la valeur moyenne arithmétique des résultats individuels et l'écart type.

3.3 Evaluation vis-à-vis d'une caractéristique minimale

Dans le but de déterminer si un matériau a satisfait aux caractéristiques par rapport à la spécification minimale précisée dans la CEI 60672-3, la valeur moyenne du nombre de déterminations doit être comparée aux valeurs minimale et maximale requises dans la CEI 60672-3, ou dans la gammes de valeurs autorisées.

Table 1 – Characteristics and minimum number of test pieces for each test

Clause	Test	Number of test pieces	Shape and dimensions
4	Dye penetration test	3	Fragments or small components; see 4.2
5	Bulk density/ open porosity	3	Fragments or small components; see 5.2, note
6	Flexural strength	10	See table 3
7	Modulus of elasticity	3	Bar-shaped, preferably with a support span-to-thickness ratio > 50; see 7.3
8	Mean coefficient of linear thermal expansion	2	Appropriate to the apparatus used
9	Specific heat capacity	2	Appropriate to the apparatus used
10	Thermal conductivity	2	Appropriate to the apparatus used; see 10.2
11	Thermal shock	30	Rods 10 mm diameter × 120 mm long
12	Glass transition temperature (T_g , for glass only)	2	Appropriate to the apparatus used
13	Electric strength	10	Discs as described in 13.3
14	Withstand voltage	10	Discs as described in 13.3
15	Relative permittivity/ dissipation factor	3	Discs in accordance with IEC 60250, as described in clause 15
16	Volume resistivity	2	Discs in accordance with IEC 60345, as described in clause 16

3.2 Presentation of results

The test report shall include the following:

- name of testing establishment;
- a reference to this standard;
- date of test;
- identification of the item, test piece or test material (type, manufacturer, shaping process, batch number, date of manufacture, etc., as appropriate);
- the test performed;
- the preparation, shape and dimensions of the test pieces and the number tested (see table 1 for the minimum number for each test);
- details relevant to the test or tests undertaken (see requirements listed under each test method);
- individual results from each test piece;
- the arithmetic mean value of the individual results, and the standard deviation.

3.3 Evaluation against a minimum specification

For the purpose of assessing whether a material has satisfactory properties compared with the minimum specification laid down in IEC 60672-3, the mean value of the specified number of determinations shall be compared with the maximum or minimum value required in IEC 60672-3, or with the range of values permitted.

4 Essai de pénétration au colorant (absorption de liquide)

NOTE 1 Cet essai est conçu pour déceler la porosité continue interliaison ainsi que les micro-crevasses qui pourraient rendre le matériau non acceptable pour ce qui concerne le claquage diélectrique en haute tension. Cet essai n'est pas applicable aux matériaux à base de verre, sauf les produits en verre fritté. Cet essai n'est, par ailleurs, pas comme un essai de vérification de routine pour les petites craquelures et alvéoles dans de petits composants, pour lesquelles d'autres essais moins contraignants peuvent être appropriés, par exemple un essai à vide avec un colorant liquide.

NOTE 2 Pour les matériaux de couleur sombre, il convient que le colorant adopté soit choisi de telle sorte qu'il offre un contraste avec la couleur naturelle du matériau. Les colorants fluorescents peuvent être appropriés, mais uniquement s'ils sont utilisés comme indiqué en 4.4.

4.1 Appareillage d'essai

Le matériel d'essai doit comprendre une enceinte pressurisée capable de supporter une pression d'au moins 30 MPa, une pompe haute pression, et un manomètre. Les éprouvettes sont immergées dans une solution colorante qui remplit directement l'enceinte pressurisée, ou qui est contenue dans un récipient métallique placé à l'intérieur de l'enceinte pressurisée à laquelle la pression peut être transmise par l'intermédiaire d'huile hydraulique sous pression au travers d'un tampon en caoutchouc ou par un piston (par exemple celui de la figure 1). Une étuve capable de maintenir une température de $120\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ est nécessaire pour le conditionnement de l'éprouvette.

4.2 Éprouvettes

Des fragments de céramique doivent être utilisés. La surface émaillée ou présentant une peau d'apparence brûlée ne doit pas représenter plus de 25 % de la surface totale. Les essais doivent être effectués sur des fragments provenant d'au moins trois composants ou trois éprouvettes distinctes.

4.3 Colorant

La solution colorante doit être préparée pour contenir typiquement 1 g à 3 g de colorant pour 1 l d'alcool éthylique ou d'alcools dénaturés, ou d'un autre solvant adapté.

NOTE 1 Les colorants adaptés non toxiques comprennent des mélanges de xanthane/triaryle/méthane.

NOTE 2 Il convient, dans l'utilisation et l'élimination des colorants et des solvants organiques, de tenir compte des risques sanitaires et des implications vis-à-vis de l'environnement.

4.4 Méthode d'essai

Les éprouvettes doivent être exemptes d'huile ou de poussières quelconques, et doivent être lavées si nécessaire. Les éprouvettes doivent être séchées à la température de $120\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$, pendant un temps d'au moins 3 h, et préalablement à l'essai. Elles sont alors cassées en fragments de taille adaptée.

Les éprouvettes doivent être immergées dans la solution colorante, qui est directement mise dans l'enceinte pressurisée ou dans un récipient métallique clos munis d'un joint en caoutchouc ou d'un piston, le tout alors placé dans le récipient pressurisé. Le système doit être mis à une pression non inférieure à 15 MPa, et pour une durée telle que le produit de la pression en mégapascals (MPa) par le temps en heures (h) ne soit pas inférieur à 180. Après la durée appropriée, les fragments doivent être retirés du système, lavés avec de l'eau, séchés et brisés. On doit examiner les surfaces récemment brisées en observant à l'oeil nu l'existence de tout signe de pénétration du colorant. Ces surfaces doivent être exemptes de pénétration. Des pénétrations de colorant dans de petites craquelures produites initialement, au cours de la préparation des fragments, ne doivent pas être prises en considération.

4 Dye penetration test (liquid absorption)

NOTE 1 This test is intended to detect the presence of continuous interconnected porosity or microcracks which would render the material unsatisfactory from the high-voltage dielectric breakdown point of view. The test is not applicable to glass materials with the exception of sintered glass products. The test is also not intended as a routine inspection test for minor cracks or pores in small components, for which alternative less stringent tests, for example a liquid dye vacuum test, may be appropriate.

NOTE 2 For dark-coloured materials, the dye chosen should be such as to give contrast with the natural colour of the material. Fluorescent dyes may be appropriate, but only if used as described in 4.4.

4.1 Test apparatus

The test apparatus shall include a pressure vessel capable of withstanding a pressure of at least 30 MPa, a high-pressure pump and a pressure gauge. Test pieces are immersed in dye solution which either directly fills the pressure vessel, or is contained in a metal container inside the pressure vessel to which pressure can be transmitted by the pressurizing hydraulic oil through a rubber bung or piston (see figure 1). An oven capable of maintaining $120\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ is required for test piece conditioning.

4.2 Test pieces

Fragments of ceramic shall be used. No more than 25 % of the total surface area may be glazed or have an "as-fired" skin. The test shall be made on fragments from at least three separate components or test pieces.

4.3 Dye

The dye solution shall be prepared containing typically 1 g to 3 g of dye in 1 l of ethyl alcohol or methylated spirits, or other suitable solvent.

NOTE 1 Suitable non-toxic dyes include xanthan/triaryl methane mixtures.

NOTE 2 Due regard should be paid to health hazards and environmental implications of using and disposing of organic dyes and solvents.

4.4 Method of test

The test pieces shall be free from oil or dirt of any type, and shall be washed if necessary. The test pieces shall be dried at $120\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ for a period of not less than 3 h prior to the test, and are then broken into fragments of appropriate size.

The test pieces shall be immersed in the dye solution, which is either directly in the pressure vessel, or in the metal container sealed with the rubber seal or piston which is then placed in the pressurising vessel. The system shall be pressurized to not less than 15 MPa, and for a time period such that the product of pressure in megapascals (MPa) and time in hours (h) is not less than 180. After the appropriate time, the fragments shall be taken from the system, washed in water, dried and broken. The freshly broken surfaces shall be examined, using normal vision for any sign of penetration of the dyestuff. These surfaces shall show no penetration. Penetration of dye into small cracks, produced when initially preparing fragments, shall not be taken into consideration.

4.5 Rapport d'essai

Outre les renseignements demandés aux points a) à i) en 3.2, le rapport d'essai doit comprendre les points suivants:

- a) la pression, exprimée en MPa, et le temps de mise en pression, exprimé en h;
- b) la dimension, la forme et le nombre d'éprouvettes et de fragments provenant de cette opération;
- c) si l'on a observé ou non la pénétration de colorant sur une surface quelconque de fragments fraîchement réalisés.

5 Masse volumique brute et porosité ouverte (apparente)

NOTE 1 Ces méthodes ne sont pas appropriées pour déterminer les niveaux de porosité apparente inférieurs à 0,5 % du volume, car des résultats numériques fiables ne peuvent pas être obtenus. L'existence de tels niveaux de porosité peut plus sûrement être déterminée en utilisant l'essai au colorant décrit à l'article 4.

NOTE 2 Ces essais sont appropriés pour déterminer les caractéristiques en masse brute des matériaux. Il convient de noter que les surfaces des composants en céramique ayant la peau d'apparence brûlée peuvent être étanches, même si les matériaux bruts peuvent avoir une certaine porosité apparente.

NOTE 3 L'utilisation d'un milieu liquide pour l'immersion autre que l'eau distillée est autorisée, pourvu que la masse volumique du liquide soit mesurée à $\pm 0,001 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ près à la température retenue pour la pesée des éprouvettes immergées. Les liquides adaptés comprennent la paraffine, l'alcool butylique et d'autres liquides organiques de faible volatilité.

NOTE 4 Après accord entre fournisseur et acheteur, d'autres méthodes, par exemple la pycnométrie par gaz, peuvent être utilisées, mais les résultats ne peuvent pas être comparables à ceux obtenus par les méthodes décrites ci-dessous.

5.1 Appareillage d'essai

Le matériel suivant est nécessaire pour cet essai:

- a) une balance hydrostatique (balance convenant à la détermination de la masse apparente d'une éprouvette suspendue dans un liquide), capable de peser avec une précision de $\pm 0,01 \text{ g}$;
- b) un fil mince, non lubrifié, métallique, utilisé comme suspension et ayant un diamètre n'excédant pas 0,20 mm;
- c) soit
 - méthode A: une enceinte étanche (cloche ou dessiccateur) reliée à une pompe à vide appropriée, et qui est munie d'un dispositif adapté pour mesurer la pression et introduire du liquide; soit
 - méthode B: un récipient pour contenir de l'eau bouillante, muni d'un filet à mailles larges, non corrodable, pour supporter la ou les éprouvettes placées à 10 mm au moins de la base du récipient;
- NOTE S'il faut utiliser des liquides inflammables organiques la méthode B n'est pas recommandée en raison des risques potentiels en matière de sécurité.
- d) une étuve pour le séchage des éprouvettes;
- e) un chiffon exempt de peluches pour enlever des éprouvettes le liquide en excès;
- f) une réserve d'eau déminéralisée ou d'eau fraîchement distillée, ou d'un autre liquide adapté (voir la note 3 ci-dessus).

4.5 Test report

In addition to the information required under items a) to i) in 3.2, the test report shall contain the following:

- a) the pressure, in MPa, and the time under pressure, in h;
- b) the size, shape and number of test pieces and the fragments produced therefrom;
- c) whether or not penetration of dye was observed on any freshly fractured surface of fragment.

5 Bulk density and open (apparent) porosity

NOTE 1 These methods are not appropriate for the determination of open porosity levels of less than 0,5 % by volume, since reliable numerical results cannot be obtained. The existence of such porosity levels can be more reliably determined using the dye test described in clause 4.

NOTE 2 These tests are appropriate for the determination of the bulk characteristics of materials. It should be noted that as-fired skins on ceramic components may be impervious, even if bulk material may have some open porosity.

NOTE 3 The use of liquid immersion media other than distilled water is permissible provided that the density of the liquid is measured to $\pm 0,001 \text{ Mg.m}^{-3}$ at the temperature of the weighings of the immersed test piece. Suitable liquids include paraffin, butyl alcohol and other organic liquids of low volatility.

NOTE 4 By agreement, other methods, for example gas pycnometry, may be used, but the results may not be comparable to those produced by the methods described below.

5.1 Test apparatus

The following apparatus is required for this test:

- a) a hydrostatic balance (a balance suitable for determining the apparent mass of a test piece suspended in a liquid) capable of weighing to an accuracy of $\pm 0,01 \text{ g}$;
 - b) a thin, de-greased metallic suspension wire of diameter not exceeding 0,20 mm;
 - c) either:
 - method A: a gas-tight vessel (bell jar or desiccator) connected to a suitable vacuum pump, and which is provided with suitable means for measuring the pressure and for admitting liquid, or
 - method B: a vessel for containing boiling water and equipped with non-corrodable wide-mesh netting to support the test piece(s) positioned at least 10 mm above the base of the vessel;
- NOTE Method B is not recommended if inflammable organic liquids are to be used owing to potential safety hazards.
- d) an oven for drying test pieces;
 - e) a lint-free cloth for removing excess liquid from test pieces;
 - f) a supply of demineralized or freshly distilled water, or other suitable liquid (see note 3 above).

5.2 Epreuves

On doit effectuer au moins trois déterminations. Si une détermination de porosité apparente est nécessaire, chaque essai doit utiliser au moins trois fragments de céramique dont la masse totale est comprise entre 50 g et 80 g. La surface émaillée ou présentant une peau d'apparence brûlée ne doit pas représenter plus de 25 % de la surface totale. Les fragments doivent être propres et exempts de graisse. Il faut éliminer par brossage avant l'essai toutes les paillettes susceptibles de se détacher pendant l'essai et toutes les pertes poussiéreuses.

NOTE Si, pour de petits composants individuels pesant chacun moins de 50 g, il est nécessaire de déterminer la densité, la méthode indiquée ici peut être utilisée pourvu que la précision de la pesée soit de $\pm 0,001$ g pour des éprouvettes ayant une masse supérieure à 3 g, ou de $\pm 0,0001$ g pour des éprouvettes ayant une masse comprise entre 1 g et 3 g. Pour des composants ayant une masse inférieure à 1 g, les méthodes décrites ci-dessous ne sont pas adaptées, et il convient d'essayer plusieurs composants ensemble pour constituer une masse plus importante. Il convient que les composants individuels n'aient pas une masse inférieure à 0,1 g.

5.3 Méthode d'essai

Sécher les fragments d'éprouvette dans une étuve maintenue à la température de $120\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$, pendant au moins 2 h et jusqu'à obtenir une masse constante m_0 .

Méthode A: mettre les fragments d'éprouvette dans un récipient convenable placé dans l'enceinte à vide. Fermer l'enceinte et la vider jusqu'à obtenir une pression inférieure à 3 kPa, que l'on maintient pendant au moins 5 min. Isoler l'enceinte de la pompe à vide et observer une quelconque augmentation durable de la pression. Si une augmentation supérieure à 4 kPa se produit en moins de 5 min., l'éprouvette continue à émettre du gaz. Remettre en place la pompe à vide et continuer à faire le vide jusqu'à noter l'absence de modification significative de l'isolation de l'enceinte à vide pendant 5 min. Introduire dans le récipient de l'eau distillée fraîchement bouillie à la température de $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ jusqu'à recouvrir l'éprouvette placée dans l'enceinte, et continuer le pompage pendant au moins 5 min de plus. Cette durée écoulée, isoler la pompe à vide, admettre de l'air dans le récipient, et retirer de l'eau l'éprouvette avec son récipient. Pour les matériaux à faible porosité, il faut laisser les éprouvettes séjourner dans l'eau distillée pendant au moins 6 h.

Méthode B: placer les fragments d'éprouvette dans le récipient et les recouvrir d'eau distillée. Chauffer jusqu'à ébullition et faire bouillir pendant au moins 30 min et laisser refroidir à la température ambiante, les éprouvettes restant immergées dans l'eau distillée pendant au moins 6 h.

NOTE Les méthodes A et B peuvent ne pas donner des résultats strictement équivalents pour la détermination de la porosité apparente, la méthode B étant considérée comme la moins performante pour l'extraction forcée de l'air des éprouvettes.

Quelle que soit la méthode utilisée, peser les fragments d'éprouvette dans l'eau distillée, en utilisant un fil de suspension métallique fin et propre (m_w). Retirer les éprouvettes et les replacer dans l'eau distillée. Peser le fil de suspension immergé à la même profondeur que pendant son utilisation pour la pesée des éprouvettes immergées (m_s). Noter la température de l'eau (T) arrondie à $0,1\text{ °C}$ près. Retirer les fragments d'éprouvette de l'eau, essuyer chaque éprouvette avec un chiffon humide exempt de peluches pour enlever uniquement l'eau en surface, et refaire la pesée à l'air libre (m_h).

5.2 Test pieces

At least three determinations shall be made. If an open porosity determination is required, each test shall employ at least three fragments of ceramic material with a total mass of between 50 g and 80 g. No more than 25 % of the surface may be either glazed or have an "as-fired" skin. The fragments shall be clean and degreased. Any chips liable to become detached during the test and any loose dust shall be removed by brushing before the test.

NOTE If density determinations are required on individual, small components weighing less than 50 g each, the method cited here may be used provided that the accuracy of weighing is $\pm 0,001$ g for test pieces of greater than 3 g mass, or $\pm 0,0001$ g for test pieces of 1 g to 3 g mass. For components of mass less than 1 g the methods described below are not adequate, and several components should be tested together to make a larger mass. Individual components should not have a mass of less than 0,1 g.

5.3 Method of test

Dry the test piece fragments in the oven at $120\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ for at least 2 h and until constant mass m_0 is achieved.

Method A: Place the test piece fragments in a suitable container inside the vacuum vessel. Close the vessel and evacuate it to a pressure of less than 3 kPa and maintain this for at least 5 min. Isolate the vessel from the vacuum pump and observe any steady rise in pressure. If a rise to greater than 4 kPa occurs in less than 5 min, the test piece is continuing to out-gas. Reconnect the vacuum pump and continue evacuating until there is no significant change in a 5 min period on isolation of the vacuum vessel. Admit freshly boiled distilled water at $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ to the test piece in the container until the test piece is covered, and continue evacuation for a further period of at least 5 min. After this period, isolate the vacuum pump and admit air to the vessel, and remove the test piece in its container of water. For low-porosity materials, allow to stand in distilled water for at least 6 h.

Method B: Place the test piece fragments in the vessel and cover with distilled water. Heat to boiling point and boil for at least 30 min; then allow to cool to room temperature while still immersed, and stand in distilled water for at least 6 h.

NOTE Method A and method B may not give exactly equivalent results for open-porosity determination, method B being considered to be less effective in removing entrained air from the test pieces.

Whichever method is used, weigh the test piece fragments in distilled water, using a thin, clean metal suspension wire (m_w). Remove the test pieces and replace in the distilled water. Weigh the suspension wire submerged to the same depth as when used for weighing the immersed test pieces (m_s). Record the temperature of the water (T) to the nearest 0,1 $^{\circ}\text{C}$. Remove the test piece fragments from the water, wipe each with the damp lint-free cloth to remove surface water only, and reweigh in air (m_h).

5.4 Calcul des résultats

Calculer comme suit la masse volumique brute (ρ_a) et la porosité apparente (p_a):

$$\rho_a = \frac{m_o \times \rho_w}{m_h - m_w + m_s} \quad p_a = \frac{m_h - m_o}{m_h - m_w + m_s} \times 100 \quad (1)$$

où

ρ_a est la masse volumique brute, en $\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$;

p_a est la porosité apparente, en % du vol;

m_o est la masse de l'éprouvette sèche, en g;

m_w est la masse apparente de l'éprouvette et du fil de suspension immergés, en g;

m_s est la masse apparente du fil de suspension immergé avec le même niveau d'eau, en g;

m_h est la masse de l'éprouvette saturée d'eau mesurée dans l'air, en g;

ρ_w est la masse volumique de l'eau ou d'un autre liquide d'immersion à la température T d'essai, en $\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$.

La densité de l'eau distillée à la température T est donnée dans le tableau 2. Si un autre liquide que l'eau distillée est utilisé, sa densité doit être déterminée en suivant le mode opératoire indiqué dans l'ISO 758 pour la même température que celle utilisée pour déterminer la densité des éprouvettes.

Tableau 2 – Densité de l'eau distillée

Température °C	Densité $\rho_w \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$
18	0,99860
19	0,99841
20	0,99820
21	0,99799
22	0,99777
23	0,99754
24	0,99730
25	0,99704
26	0,99678

5.5 Rapport d'essai

Outre les informations demandées aux points a) à i) en 3.2, le rapport d'essai doit comprendre les points suivants:

- la méthode utilisée (méthode A ou méthode B);
- le liquide d'immersion utilisé, si ce n'est pas de l'eau distillée;
- la température à laquelle la densité a été déterminée, exprimée en °C;
- la masse volumique du liquide d'immersion à la température d'essai, exprimée en $\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$;
- le temps mis pour terminer le trempage de l'éprouvette, exprimé en h;
- les valeurs individuelles de la masse volumique brute, exprimées en $\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ (arrondies à 0,01 $\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ près), et de la porosité apparente, exprimée en % (arrondie à 0,1 % près du volume total), déterminées pour chaque éprouvette.

5.4 Calculation of results

Calculate the bulk density (ρ_a) and open (apparent) porosity (p_a) as follows:

$$\rho_a = \frac{m_o \times \rho_w}{m_h - m_w + m_s} \quad p_a = \frac{m_h - m_o}{m_h - m_w + m_s} \times 100 \quad (1)$$

where

ρ_a is the bulk density, in $\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$;

p_a is the open (apparent) porosity, in vol %;

m_o is the mass of the dry test piece, in g;

m_w is the apparent mass of the test piece and suspension wire immersed in water, in g;

m_s is the apparent mass of the suspension wire immersed to same level in water, in g;

m_h is the mass of the soaked test piece in air, in g;

ρ_w is the density of water or other immersion liquid at the test temperature T , in $\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$.

The density of distilled water at temperature T is given in table 2. If a liquid other than distilled water is used, its density shall be determined following the procedure laid down in ISO 758 at the same temperature as used for the test piece density determination.

Table 2 – Density of distilled water

Temperature °C	Density ρ_w , $\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$
18	0,99860
19	0,99841
20	0,99820
21	0,99799
22	0,99777
23	0,99754
24	0,99730
25	0,99704
26	0,99678

5.5 Test report

In addition to the information required under items a) to i) in 3.2, the test report shall include the following:

- the method used (method A or method B);
- the immersion liquid used, if not distilled water;
- the temperature at which the density determination was made, in °C;
- the density of the immersion liquid at the test temperature, in $\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$;
- the time taken to complete the soaking of the test piece, in h;
- the individual values of bulk density, in $\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (rounded to the nearest 0,01 $\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$), and open porosity, in % (rounded to the nearest 0,1 %), determined on each test piece.

6 Résistance à la flexion

NOTE La résistance à la rupture déterminée à partir d'un essai de flexion dépend de plusieurs facteurs, dont la dimension de la pièce soumise à l'essai et la géométrie de la section transversale, la finition de surface, le taux de contrainte, l'humidité environnante, la géométrie du dispositif d'essai, et le mode opératoire. Les résultats d'un tel essai fournissent un guide pour les propriétés relatives à la résistance générale du matériau, mais ne peuvent pas être utilisés directement comme une valeur significative dans un but de conception. Ces résultats peuvent être utilisés pour faire un contrôle de qualité, et pour comparer entre eux différents matériaux, à condition que les paramètres d'essai correspondants soient maintenus constants, tels que ceux précisés ci-dessus.

6.1 Appareillage d'essai

L'appareillage nécessaire pour cet essai comprend le matériel suivant:

- a) une machine mécanique d'essai capable d'appliquer une force à une éprouvette avec un taux de variation de charge ou une vitesse de déplacement de la tête constants, ainsi qu'un enregistrement des forces maximales appliquées, avec une précision de $\pm 1\%$;

NOTE La norme ISO 7500-1 [2]* donne des informations sur les exigences relatives à la linéarité et à la résolution de l'enregistrement des forces dans les machines d'essai mécaniques si elles sont utilisées en traction, modes opératoires qui peuvent être appliqués également en mode compression, comme ceux rencontrés de manière caractéristique dans les essais de résistance en flexion.

- b) un dispositif de chargement d'éprouvette de géométrie et de dimensions appropriées à l'essai à réaliser (voir 6.2 et le tableau 3);
- c) un micromètre conforme à l'ISO 3611 capable de mesurer les dimensions des éprouvettes avec une précision de $\pm 0,01$ mm;
- d) un microscope mobile, un pied à coulisse conforme à l'ISO 6906, ou d'autres dispositifs adaptés pour mesurer l'espacement des centres des supports d'éprouvette et des rouleaux de chargement, avec une précision de $\pm 0,05$ mm.

6.2 Dispositifs de chargement

Méthode A – Flexion en trois points

Le dispositif d'essai ou la fixation consiste en deux rouleaux supports d'éprouvette parallèles, sur lesquels on place l'éprouvette, ainsi qu'un rouleau de chargement pour appliquer une force au milieu de l'éprouvette, entre les rouleaux supports. Les rouleaux supports doivent être libres de pivoter autour d'un axe parallèle à leur longueur dans le but de minimiser les effets dus aux frottements, et un des rouleaux supports doit être libre de pivoter autour d'un axe orthogonal, parallèle à la longueur de l'éprouvette dans le but de permettre son alignement. Le rouleau de chargement doit avoir un axe de rotation similaire pour réaliser un chargement uniforme en travers de l'éprouvette. Le diamètre des rouleaux supports et de chargement, ainsi que la distance séparant les centres des rouleaux supports (la portée) doivent être ceux définis au tableau 3. Leur surface doit être maintenue polie et exempte de bavure. La force est appliquée perpendiculairement au plan de l'éprouvette et/ou des rouleaux supports. Une disposition typique du dispositif d'essai est illustrée à la figure 2.

Méthode B – Flexion en quatre points

Le dispositif d'essai comprend deux supports comme dans la méthode A, avec des caractéristiques identiques. Deux rouleaux de chargement, espacés en leur centre d'une distance correspondant à la moitié de l'écartement entre les supports, sont placés symétriquement, à $\pm 0,2$ mm près, entre les rouleaux supports (voir 6.4.1.c)), et on applique une force perpendiculairement à l'éprouvette. Les deux rouleaux supports doivent être libres de pivoter autour d'un axe parallèle à leur plus grande longueur, et doivent également être capables de tourner séparément l'un de l'autre autour d'un axe parallèle à la longueur de l'éprouvette. De cette manière, il est possible de réaliser l'alignement complet des rouleaux supports et de chargement.

* Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie.

6 Flexural strength

NOTE The fracture strength determined from a flexural test depends upon many factors including test piece size and cross-sectional geometry, surface finish, stressing rate, humidity of the environment, test jig geometry and mode of operation. The result of such a test gives a guide to the general strength properties of the material, but cannot be used directly as a figure for design purposes. It can be used as a quality-control check, and for a broad intercomparison of different materials, provided that relevant test parameters, such as those given above, are kept constant.

6.1 Test apparatus

The apparatus required for this test includes the following:

- a) mechanical testing machine capable of applying a force to a test piece at a constant loading rate or cross-head movement rate, and of recording peak force applied with an accuracy of $\pm 1\%$;

NOTE ISO 7500-1 [2]* provides information on the requirements for linearity and resolution of force recording in mechanical testing machines when used under tensile force, procedures which may be applied also to the compression mode, such as typically encountered in flexural strength testing.

- b) a specimen loading jig of geometry and dimensions appropriate to the test being performed (see 6.2 and table 3);
- c) a micrometer in accordance with ISO 3611 capable of measuring dimensions of test pieces to an accuracy of $\pm 0,01$ mm;
- d) a travelling microscope, vernier callipers in accordance with ISO 6906, or other suitable device for measuring spacing of centres of test piece support and loading rods to an accuracy of $\pm 0,05$ mm.

6.2 Loading jigs

Method A – three-point bend

The test jig or fixture consists of two parallel test piece support rods upon which the test piece is laid, and one loading rod to apply a force to the test piece, midway between the support rods. The support rods shall be free to rotate about an axis parallel to their lengths in order to minimize friction effects, and one of the support rods shall be free to rotate about an orthogonal axis parallel to the length of the test piece in order to permit alignment. The loading rod shall have a similar axis of rotation in order to achieve uniform loading across the test piece. The diameter of the support and loading rods and the distance between the centres of the support rods (the span) shall be as defined in table 3, and the surface shall be maintained in a polished, burr-free condition. The force is applied orthogonally to the plane of the test piece and/or support rods. A typical jig arrangement is shown in figure 2.

Method B – four-point bend

The test jig comprises two supports as in method A, with identical specification. Two loading rods spaced with their centres half the support span distance apart (see 6.4.1 c)) are placed symmetrically to within $\pm 0,2$ mm between the support rods, and force is applied orthogonally to the test piece. The two loading rods shall be free to rotate about an axis parallel to their lengths, and shall also be capable of separately rotating about an axis parallel to the length of the test piece. In this way, full alignment of loading and support rods may be achieved.

* Figures in square brackets refer to the bibliography.

NOTE La rotation des rouleaux support ou des rouleaux de chargement autour d'un axe parallèle à la longueur de l'éprouvette n'est pas nécessaire pour essayer des éprouvettes rondes ou rondes aplaties. Pour ce qui concerne les éprouvettes usinées avec des faces planes et parallèles, il n'est pas indispensable d'avoir cette rotation pour les rouleaux supports, ni pour les rouleaux de chargement de la méthode B, mais il convient toutefois qu'une rotation relative existe entre le ou les rouleaux de chargement et les rouleaux supports.

6.3 Epreuves

Les éprouvettes doivent être mises aux dimensions données par le tableau 3 et la figure 3, conformément à leur classification (voir CEI 60672-1). Il convient que la méthode de préparation des matériaux en céramique soit appropriée à la méthode de fabrication qu'il est prévu d'utiliser pour les composants, par exemple comprimés isostatiquement ou extrudés. Il convient d'indiquer toute technique de préparation de la surface, telle que le meulage, l'abrasion, le fraisage, etc.

NOTE 1 Les dimensions de l'éprouvette et du dispositif d'essai données au tableau 3 peuvent, par accord entre acheteur et fournisseur, être modifiées pour être adaptées à des circonstances particulières. Il convient que le rapport entre l'écartement du support et l'épaisseur de l'éprouvette ne soit pas inférieur à 10:1 pour pouvoir utiliser les équations données en 6.5. Il convient d'indiquer dans un rapport d'essai toutes les informations concernant la procédure d'essai. On peut citer cette norme uniquement si tous les autres aspects de la procédure sont conformes aux prescriptions pour cet essai.

Pour les matériaux en verre ou en verre-céramique, on doit utiliser une surface abrasée, qui est à préparer en utilisant du sable. La quantité de sable, la vitesse de son flux et sa hauteur de chute sont à spécifier dans le rapport d'essai.

NOTE 2 La résistance à la rupture de beaucoup de céramiques, en particulier celles à grains fins, ainsi que celles des verres et des verres-céramiques, est fortement influencée par les conditions de traitement de surface car celle-ci est soumise à la plus forte contrainte pour un essai en flexion. Il convient que le traitement de surface utilisé pour les éprouvettes soit comparable à celui utilisé pour les pièces manufacturées.

Le nombre minimal d'éprouvettes pour chaque essai doit être de 10.

NOTE 3 Si nécessaire, un plus grand nombre d'éprouvettes peuvent être essayées afin d'obtenir des informations statistiques, par exemple le module de Weibull. Dans de tels cas, il est recommandé que le nombre minimal d'éprouvettes soit de 30.

6.4 Méthode d'essai

L'écartement des rouleaux supports ainsi que, pour la méthode B, l'écartement des rouleaux de chargement doivent être mesurés à 0,1 mm près. Les dimensions de la section transversale de l'éprouvette doivent être mesurées avec un micromètre, à 0,02 mm près. Pour les éprouvettes ayant des sections transversales nominalement circulaires, mesurer les diamètres minimal et maximal en trois endroits et calculer la moyenne arithmétique. Pour les barres ayant des sections transversales circulaires aplaties et rectangulaires, mesurer les largeurs et les épaisseurs au minimum en trois endroits, à proximité du centre de l'éprouvette, et calculer la moyenne arithmétique. Placer l'éprouvette centrée transversalement aux rouleaux supports et positionner le rouleau de chargement au centre (Méthode A), ou les deux rouleaux de chargement symétriquement (Méthode B), à $\pm 0,2$ mm près. Si cela n'est pas déjà fait, placer le calibre d'essai dans la machine d'essai. Appliquer une force croissante sur le rouleau de chargement (Méthode A) ou des forces égales sur les rouleaux (Méthode B) avec une vitesse comprise entre 20 N·s⁻¹ et 50 N·s⁻¹, déterminée directement ou indirectement par le choix approprié d'une vitesse de déplacement de la tête de la machine d'essai, et la maintenir jusqu'à la rupture de l'éprouvette. Noter la force maximale avec une précision de 1 %. Répéter l'essai sur chaque éprouvette du lot.

NOTE The rotation of support or loading rods about an axis parallel to the test piece length is not required for testing round or flattened, circular test pieces. For test piece surfaces machined flat and parallel-faced, this rotation is not essential for the support rollers, nor for the loading rollers of method B, but there should still be relative rotation between the loading roller(s) and the support rollers.

6.3 Test pieces

Test pieces shall be prepared in the sizes given in table 3 and figure 3 according to their classification (see IEC 60672-1). The method of preparation of ceramic material should be appropriate to the expected manufacturing method used for components, for example isostatically pressed or extruded. Any surface preparation technique such as grinding, abrasion, milling, etc., should be noted.

NOTE 1 The test piece and jig dimensions given in table 3 may, by agreement between customer and supplier, be modified to suit particular circumstances. The support span to test piece-depth ratio should not be less than 10:1 for use of the equations in 6.5. Full details of the test procedure should be given in any test report. This standard is permitted to be cited only if all other aspects of procedure conform to the requirements for this test.

For glass and glass-ceramic materials, an abraded surface shall be used, prepared using falling sand, the quantity, flow rate and fall height of which are to be specified in the test report.

NOTE 2 The fracture strength of many ceramics, especially fine-grained ones, and of glasses and glass-ceramics is strongly influenced by the surface condition since the surface is subjected to the highest stress in a flexure test. The surface treatment used for test pieces should be comparable with that used for manufactured components.

The minimum number of test pieces for each test shall be 10.

NOTE 3 If required, a larger number of test pieces may be tested in order to obtain statistical information, for example a Weibull modulus. If such is the case, it is recommended that a minimum of 30 test pieces is tested.

6.4 Method of test

The support rod span, and, in the case of method B, the loading roller span as well, shall be measured to the nearest 0,1 mm. The test piece cross-sectional dimensions shall be measured with a micrometer to the nearest 0,02 mm. In the case of nominally round cross-section test pieces, measure the maximum and minimum diameters at three positions and calculate the arithmetic mean. For flattened circular and rectangular section bars, measure the widths and thicknesses at a minimum of three positions near the centre of the test piece, and calculate the arithmetic mean. Place the test piece centrally across the support rollers and the loading roller (method A) centrally or the pair of loading rollers (method B) symmetrically to within $\pm 0,2$ mm. If not already done, place the test jig in the test machine. Apply an increasing force to the loading roller (method A) or equally to the two rollers (method B) at a rate between $20 \text{ N}\cdot\text{s}^{-1}$ and $50 \text{ N}\cdot\text{s}^{-1}$, either directly selected, or indirectly by choice of an appropriate machine cross-head displacement rate, and continue until the test piece fractures. Record the peak force to an accuracy of 1 %. Repeat the test on each test piece of the batch.