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

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

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: S*ymboles 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.

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

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 3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
Telefax: +41 22 919 0300 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

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS

Not for Resale

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

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

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

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

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

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

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

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

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 développement 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.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

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.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

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.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

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.

--`,,`,,`,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

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*

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

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*

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

ISO/DIS 463, *Spécification géométrique des produits (GPS) – Instruments de mesurage 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 Eprouvettes

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 trempe 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 trempe thermique, servant à mettre en évidence les particularités correspondant à un état de trempe, 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.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

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.

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

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:

a) nom de l'établissement d'essai;

b) une référence à la présente norme;

c) la date de l'essai;

d) 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);

e) l'essai réalisé;

f) 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);

g) des informations sur l'essai ou les essais entrepris (voir les caractéristiques indiquées pour chaque méthode d'essai);

h) les résultats individuels concernant chaque éprouvette;

i) 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.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

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:

a) name of testing establishment;

b) a reference to this standard;

c) date of test;

d) identification of the item, test piece or test material (type, manufacturer, shaping process, batch number, date of manufacture, etc., as appropriate);

e) the test performed;

f) the preparation, shape and dimensions of the test pieces and the number tested (see table 1 for the minimum number for each test);

g) details relevant to the test or tests undertaken (see requirements listed under each test method);

h) individual results from each test piece;

i) 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.

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

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 °C ± 5 °C est nécessaire pour le conditionnement de l'éprouvette.

4.2 Eprouvettes

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 °C ± 5 °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.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

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 °C ± 5 °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 °C ± 5 °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.

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

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 ±0,001 $Mg \cdot m^{-3}$ 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 ±0,01 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).

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

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 ±0,001 $Mg.m^{-3}$ 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 pyknometry, 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 ±0,01 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).

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

5.2 Eprouvettes

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 ±0,001 g pour des éprouvettes ayant une masse supérieure à 3 g, ou de ±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 °C ± 5 °C, pendant au moins 2 h et jusqu'à obtenir une masse constante m_o.

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 °C ± 2 °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 °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).

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

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 ±0,001 g for test pieces of greater than 3 g mass, or ±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 °C ± 5 °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 °C ± 2 °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 °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).

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

5.4 Calcul des résultats

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

$$\rho_a = \frac{m_o \times \rho_w}{m_h - m_w + m_s} \qquad p_a = \frac{m_h - m_o}{m_h - m_w + m_s} \times 100 \tag{1}$$

où

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

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 $Mg \cdot m^{-3}$.

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 ρ_w $Mg \cdot m^{-3}$
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:

a) la méthode utilisée (méthode A ou méthode B);

b) le liquide d'immersion utilisé, si ce n'est pas de l'eau distillée;

c) la température à laquelle la densité a été déterminée, exprimée en °C;

d) la masse volumique du liquide d'immersion à la température d'essai, exprimée en $Mg \cdot m^{-3}$;

e) le temps mis pour terminer le trempage de l'éprouvette, exprimé en h;

f) les valeurs individuelles de la masse volumique brute, exprimées en $Mg \cdot m^{-3}$ (arrondies à 0,01 $Mg \cdot m^{-3}$ près), et de la porosité apparente, exprimée en % (arrondie à 0,1 % près du volume total), déterminées pour chaque éprouvette.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

5.4 Calculation of results

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

$$\rho_a = \frac{m_o \times \rho_w}{m_h - m_w + m_s} \qquad p_a = \frac{m_h - m_o}{m_h - m_w + m_s} \times 100 \tag{1}$$

where

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

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 $Mg \cdot m^{-3}$.

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, $Mg \cdot m^{-3}$
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:

a) the method used (method A or method B);

b) the immersion liquid used, if not distilled water;

c) the temperature at which the density determination was made, in °C;

d) the density of the immersion liquid at the test temperature, in $Mg \cdot m^{-3}$;

e) the time taken to complete the soaking of the test piece, in h;

f) the individual values of bulk density, in $Mg \cdot m^{-3}$ (rounded to the nearest 0,01 $Mg \cdot m^{-3}$), and open porosity, in % (rounded to the nearest 0,1 %), determined on each test piece.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

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 ±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 ±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 ±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 ±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.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

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 ±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 ±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 ±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 ±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.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

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 Eprouvettes

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 ±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 $N \cdot s^{-1}$ et 50 $N \cdot s^{-1}$, 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.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

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 ±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 $N \cdot s^{-1}$ and 50 $N \cdot s^{-1}$, 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.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Tableau 3 – Dimensions des éprouvettes et dimensions des gabarits d'essai de contrainte en flexion pour les différentes classes de matériaux en céramique

Groupe	Sous-groupe	Dimensions de l'éprouvette mm				Méthode A ou B	Dimensions du gabarit mm	
		Longueur	Barre ronde diamètre	Rond aplati	Rectangulaire		Ecartement du support	Diamètre du rouleau
		L	d	h × b	h × b			
C 100	Tous sauf C 111	120	10	–	–	A	100	10
	C 111	120	–	10 × 8	10 × 10	A	100	10
C 200	Tous	120	10	10 × 8	10 × 10	A	100	10
C 300	Tous	50	5	–	3 × 4	A	40	5
C 400	Tous	120	10	10 × 8	10 × 10	A	100	10
C 500	Tous	120	10	10 × 8	10 × 10	A	100	10
C 600	Tous	120	10	10 × 8	10 × 10	A	100	10
C 700	Tous	50	5	–	3 × 4	A ou B	40	5
C 800	C 810	50	5	–	3 × 4	A ou B	40	5
	C 820	120	10	–	10 × 10	A	100	10
C 900	Tous	50	5	–	3 × 4	A ou B	40	5
GC	Les deux	50	5	–	3 × 4	A ou B	40	5
GM	Les deux	50	5	–	3 × 4	B	40	5
G	Tous	120	10	–	–	B	100	10

6.4.1 Autres caractéristiques

a) Les éprouvettes circulaires aplaties doivent être pressées dans la direction correspondant aux 10 mm, et doivent être essayées avec une direction d'application de la charge correspondant à cette même direction.

b) Les éprouvettes de section rectangulaire ou carrée doivent avoir leurs plus grandes arêtes chanfreinées, avec un méplat à 45° ou arrondie avec un rayon tangent au bord. Les dimensions des chanfreins et des arrondis sont données à la figure 3. Les chanfreins doivent être préparés par meulage ou polissage parallèlement à la longueur de l'éprouvette.

c) Pour la méthode B, le rapport entre les portées intérieure et extérieure doit être de 1:2. Les tolérances sur les dimensions des portées doivent être de ±2 % des valeurs données au tableau 3.

d) Les tolérances sur les dimensions des sections transversales de l'éprouvette sont les suivantes:

   – sur le diamètre: ±5 %; sur la longueur de l'éprouvette: ±2 %, de manière uniforme.

   – sur la largeur *b* ou l'épaisseur *h*: ±5 % de la dimension indiquée au tableau 3. La surface de l'éprouvette doit être plane et parallèle à ±0,02 mm près.

e) Les niveaux de résistances minimales spécifiés dans la CEI 60672-3 et relatifs à cette norme se rapportent aux déterminations qui sont faites par la méthode A, flexion en trois points, sauf là où seule la méthode B est autorisée dans le tableau 3. Les résultats d'essai de flexion en quatre points (Méthode B) sont typiquement inférieurs de 10 % à 20 % par rapport aux résultats d'essai de flexion en trois points.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Table 3 – Dimensions of test pieces and flexural strength test jig for various groups of ceramic materials

Group	Sub-group	Test piece dimensions mm				Method A or B	Jig size mm	
		Length	Rod diameter	Flattened circular	Rectan-gular		Support span	Roller diameter
		L	d	h × b	h × b			
C 100	All except C 111	120	10	–	–	A	100	10
	C 111	120	–	10 × 8	10 × 10	A	100	10
C 200	All	120	10	10 × 8	10 × 10	A	100	10
C 300	All	50	5	–	3 × 4	A	40	5
C 400	All	120	10	10 × 8	10 × 10	A	100	10
C 500	All	120	10	10 × 8	10 × 10	A	100	10
C 600	All	120	10	10 × 8	10 × 10	A	100	10
C 700	All	50	5	–	3 × 4	A or B	40	5
C 800	C 810	50	5	–	3 × 4	A or B	40	5
	C 820	120	10	–	10 × 10	A	100	10
C 900	All	50	5	–	3 × 4	A or B	40	5
GC	Both	50	5	–	3 × 4	A or B	40	5
GM	Both	50	5	–	3 × 4	B	40	5
G	All	120	10	–	–	B	100	10

6.4.1 Other requirements

a) Flattened circular test pieces shall be pressed in the 10 mm direction, and shall be tested with the direction of load application in this same direction.

b) Rectangular- or square-section test pieces shall have their long edges either chamfered with a 45° plane or rounded with an edge radius. Dimensions of the chamfers and roundings are given in figure 3, and shall be prepared by grinding or polishing parallel to the length of the test piece.

c) The inner to outer span ratio for method B shall be 1:2. Tolerances on span dimensions shall be ±2 % of the values given in table 3.

d) Size tolerances on test piece cross-section dimensions are as follows:

   – diameter: ±5 %, uniform along test piece length to ±2 %;

   – width *b* or thickness *h*: ±5 % of the dimension in table 3. The test piece surfaces shall be flat and parallel to within ±0,02 mm.

e) The minimum strength levels of this standard specified in IEC 60672-3 relate to determinations by method A, three-point flexure, except where only method B is permitted in table 3. Four-point flexure test results (method B) are typically 10 % to 20 % lower than three-point flexure test results.

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

6.5 Calcul des résultats

La valeur σ_f de la résistance en flexion de chaque éprouvette est calculée en utilisant la formule appropriée suivante:

Méthode A – Flexion en trois points

a) Section transversale circulaire:

$$\sigma_f = \frac{8 \times F \times l}{\pi \times d^3} \quad (2)$$

b) Section circulaire aplatie

$$\sigma_f = \frac{8 \times F \times l}{\pi \times b \times h^2} \quad (3)$$

c) Section rectangulaire:

$$\sigma_f = \frac{3 \times F \times l}{2 \times b \times h^2} \quad (4)$$

Méthode B – Flexion en quatre points:

a) Section circulaire:

$$\sigma_f = \frac{16 \times F \times a}{\pi \times d^3} \quad (5)$$

b) Section circulaire plane:

$$\sigma_f = \frac{16 \times F \times a}{\pi \times b \times h^2} \quad (6)$$

c) Section rectangulaire:

$$\sigma_f = \frac{3 \times F \times a}{b \times h^2} \quad (7)$$

où

σ_f est la résistance à la flexion, en MPa;

F est la force totale appliquée à l'éprouvette au moment de la rupture, en N;

l est la distance entre les points supports, en mm;

a est la distance entre un point support et un point de chargement adjacent, pour la méthode B, en mm;

d est le diamètre de l'éprouvette à section circulaire, en mm;

b est la largeur de l'éprouvette ronde aplatie, ou rectangulaire, en mm;

h est l'épaisseur de l'éprouvette (dans la direction de chargement), en mm.

6.6 Rapport d'essai

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

a) la méthode d'essai utilisée (A ou B) si le dispositif d'essai n'est pas conforme aux exigences du tableau 3 (voir note 1 en 6.3), et la dimension du dispositif, exprimée en mm;

b) la vitesse de variation de la contrainte utilisée, exprimée en $MPa \cdot s^{-1}$, déterminée à partir de la pente des caractéristiques force/temps;

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

6.5 Calculation of results

The value of σ_f, the flexural strength, of each test piece is calculated using the appropriate equation as follows:

Method A – three-point bend:

a) circular cross-section:

$$\sigma_f = \frac{8 \times F \times l}{\pi \times d^3} \quad (2)$$

b) flattened circular cross-section:

$$\sigma_f = \frac{8 \times F \times l}{\pi \times b \times h^2} \quad (3)$$

c) rectangular cross-section:

$$\sigma_f = \frac{3 \times F \times l}{2 \times b \times h^2} \quad (4)$$

Method B – four-point bend:

a) circular cross-section:

$$\sigma_f = \frac{16 \times F \times a}{\pi \times d^3} \quad (5)$$

b) flattened circular cross-section:

$$\sigma_f = \frac{16 \times F \times a}{\pi \times b \times h^2} \quad (6)$$

c) rectangular cross-section:

$$\sigma_f = \frac{3 \times F \times a}{b \times h^2} \quad (7)$$

where

σ_f is the flexural strength, in MPa;

F is the total force applied to the test piece at fracture, in N;

l is the distance between support points, in mm;

a is the distance between a support point and an adjacent loading point in method B, in mm;

d is the diameter of round section test piece, in mm;

b is the width of flattened circular or rectangular test piece, in mm;

h is the thickness of test piece (in direction of loading), in mm.

6.6 Test report

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

a) the test method used (A or B) and, if the test jig is not in accordance with the requirements of table 3 (see clause 6.3, note 1), the jig size, in mm;

b) the stressing rate used, in $MPa \cdot s^{-1}$, determined from the slope of the force/time characteristics;

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

c) toute information sur les éprouvettes, telles que des informations sur la fabrication, la méthode de finition de surface, etc.;

d) le nombre d'éprouvettes essayées;

e) les résultats individuels sur la résistance σ_f, exprimés en MPa;

f) la moyenne des résultats et l'écart type (ISO 3534-1), exprimés en MPa;

g) si cela est approprié, des informations sur toute procédure statistique utilisée pour analyser les données, et les résultats qui en découlent, par exemple le module de Weibull.

7 Module d'élasticité

NOTE 1 La procédure d'essai décrite ci-dessous est destinée à déterminer le module de Young par flexion statique. D'autres méthodes peuvent également être utilisées pour obtenir le module de cisaillement et le coefficient de Poisson. Elles correspondent aux techniques de réaction aux impacts, à la résonance des barres et à la vitesse de propagation du son. Ces autres méthodes peuvent être utilisées par accord mutuel, mais elles sont hors du domaine d'application de cette norme. Il ne faut pas en faire référence dans le rapport d'essai.

NOTE 2 La procédure d'essai suppose que les éprouvettes sont faites dans des matériaux homogènes et élastiques linéairement isotropiques. Pour des niveaux de porosité importante, ces méthodes peuvent être inappropriées.

7.1 Définitions

7.1.1 Module de Young

Contrainte nécessaire dans un matériau pour produire une contrainte ou une compression sur un seul axe, souvent référencée comme étant le module élastique.

7.1.2 Module élastique statique

Module de Young déterminé dans une condition isotherme par effort statique ou quasi statique.

7.1.3 Module élastique dynamique

Module élastique déterminé de manière non quasi statique, c'est-à-dire dans des conditions adiabatiques, comme dans les méthodes correspondant à l'excitation d'impact, la résonance ou à la vitesse du son.

7.2 Appareillage d'essai

Le matériel d'essai nécessaire à cet essai comprend:

a) une machine d'essai mécanique capable d'appliquer à une éprouvette une force avec une vitesse constante de chargement ou une vitesse de déplacement constante de la traverse, et d'enregistrer la force avec une précision de 0,1 % et avec une résolution meilleure que 0,1 N.

NOTE 1 La norme ISO 7500-1 [2] donne des informations sur les exigences de linéarité et de 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 appareil d'essai en flexion similaire à celui utilisé pour l'essai de résistance en flexion, flexion en trois points ou en quatre points (voir 6.2). Les rouleaux supports et les rouleaux de chargement de l'appareil d'essai doivent être libres de rouler et de s'articuler pour assurer un chargement axial et invariable. On peut utiliser une flexion trois ou quatre points, mais une flexion quatre points est nécessaire si l'on utilise des jauges de contraintes.

NOTE 2 L'articulation peut ne pas être nécessaire pour des éprouvettes dont le parallélisme et la planéité des faces ont été réalisés avec soin à l'usinage.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

c) any relevant details concerning the test pieces, such as manufacturing details, surface finishing method, etc.;

d) the number of test pieces tested;

e) the individual strength results σ_f, in MPa;

f) the mean strength results and the standard deviation (ISO 3534-1), in MPa;

g) where relevant, details of any statistical procedure employed to analyse the data, and the results therefrom, for example Weibull modulus.

7 Modulus of elasticity

NOTE 1 The test procedure described below is for determination of Young's modulus by static bending. Alternative methods, which may also be used to obtain shear modulus and Poisson's ratio, are impact excitation, resonant bar and velocity of sound techniques. These other methods may be used by mutual agreement, but are outside the scope of this standard, which may not be referred to in the test report.

NOTE 2 The test procedure assumes that the test pieces are homogeneous and isotropic linearly elastic materials. At high porosity levels, the methods may be inappropriate.

7.1 Definitions

7.1.1 Young's modulus

The stress required in a material to produce unit uniaxial strain in tension or compression, often referred to as elastic modulus.

7.1.2 Static elastic modulus

Young's modulus determined in an isothermal condition by stressing statically or quasistatically.

7.1.3 Dynamic elastic modulus

Elastic modulus determined non-quasistatically, i.e. under adiabatic conditions, such as in the impact excitation, resonance or velocity of sound methods.

7.2 Test apparatus

The test apparatus required for this test comprises:

a) A mechanical testing machine capable of applying a force to a test piece at a constant loading rate or constant cross-head movement rate, and of recording the force with an accuracy of 0,1 % and with a resolution of better than 0,1 N.

NOTE 1 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 also be applied to the compression mode, such as typically encountered in flexural modulus testing.

b) A flexural test jig similar to that employed for flexural strength testing, either three-point bending or four-point bending (see 6.2). The support and loading rollers of the test jig shall be free to roll and to articulate to ensure axial and even loading. Either three or four-point bending may be used, but four-point bending is required if strain gauges are employed.

NOTE 2 Articulation may not be required for carefully machined flat and parallel-faced test pieces.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

La déflexion peut être mesurée par une des deux méthodes décrites ci-dessous.

Méthode (a)

Un transducteur de déplacement linéaire mesurant le déplacement différentiel entre deux (ou trois) points définis sur l'éprouvette fléchie entre les rouleaux supports. Pour une flexion en quatre points, les points définis doivent être le centre de l'écartement et son opposé, ou les deux points de chargement (voir figure 4). Pour une flexion en trois points, les points définis doivent être le centre de l'écartement et les points correspondant à un ou deux rouleaux supports. Si on utilise une jauge numérique, celle-ci doit avoir une précision de 0,001 mm, conformément à l'ISO 463. Tout autre dispositif doit avoir une précision de 0,001 mm, une sortie linéaire donnant le déplacement avec une précision meilleure que 0,01 %, et doit être réglé avec une précision de 0,1 %;

Méthode (b)

A partir du déplacement apparent de la traverse de la machine d'essai mécanique pour une gamme de chargement et de déchargement donnée, correctement corrigé pour s'adapter à la machine (voir figure 4).

L'adaptation de la machine doit être déterminée en remplaçant l'éprouvette par une barre en acier ou en céramique d'au moins 15 mm d'épaisseur, et en répétant la mesure. Le dispositif d'enregistrement du déplacement, par exemple un enregistreur papier, doit être réglé en comparant le déplacement enregistré de la traverse avec le déplacement réel de celle-ci, déterminé en utilisant une jauge numérique conforme à l'ISO 463 ou tout autre transducteur de déplacement linéaire ayant une précision de 0,001 mm, avec une sortie linéaire à 0,01 % et calibré avec une précision à 0,1 %.

NOTE 3 La méthode (b) ci-dessus peut ne pas être précise si la machine et le dispositif d'essai ne sont pas suffisamment rigides et ne donnent pas des résultats reproductibles quand on applique une force sur l'éprouvette. Il convient d'utiliser une machine ne se déformant pas de plus de 0,01 $mm \cdot kN^{-1}$. En plus, avec cette méthode, les marques de déplacement de la force peuvent être ni rectilignes ni égales pour le chargement et le déchargement, comme cela est schématiquement indiqué dans la partie inférieure de la figure 4.

La contrainte de surface induite par flexion peut être déterminée d'une autre manière.

Méthode (c)

Utilisation d'une ou de plusieurs jauges de contrainte installées à la surface de l'éprouvette.

On doit utiliser uniquement la flexion en quatre points. La jauge doit être installée entre les points de chargement sur le côté en tension (ou des deux côtés), au milieu de l'écartement et ne doit pas être plus grande que l'écartement des rouleaux de chargement. La ou les jauges de contrainte et les circuits de liaison associés doivent avoir une précision meilleure que 0,1 % et doivent être capables de résoudre une contrainte inférieure à 10^{-5}.

7.3 Eprouvettes

La forme préférentielle d'éprouvette est une fine bande plate avec un rapport supérieur à 50 entre l'écartement du support et l'épaisseur, et un rapport supérieur à 4 entre la largeur et l'épaisseur.

NOTE Des éprouvettes plus épaisses telles que celles décrites dans le tableau 3 peuvent conduire à des erreurs de mesure indésirables, sauf si l'on utilise la méthode de la jauge de contrainte. Il convient que le rapport entre l'écartement du support et le diamètre des éprouvettes de section circulaire soit supérieur à 40, mais il convient de ne pas utiliser ces éprouvettes avec des jauges de contrainte.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

The flexural displacement may be measured by one of two methods:

Method (a)

A linear displacement transducer measuring the differential displacement between two (or three) defined points on the bent test piece between the support rollers. For four-point bending, the defined points shall be the centre of span and opposite one (or both) loading points (see figure 4). For three-point bending, the defined points shall be the centre of the span and at one (or both) support rollers. If a dial gauge is used, this shall be accurate to 0,001 mm in accordance with ISO 463. Any other device shall be accurate to 0,001 mm, shall have an output linear with displacement to better than 0,01 %, and shall be calibrated to an accuracy of 0,1 %.

Method (b)

From the apparent cross-head displacement of a mechanical testing machine over a given loading and unloading range suitably corrected for machine compliance (see figure 4). Machine compliance shall be determined by replacing the test piece with a steel or ceramic bar at least 15 mm thick and repeating the measurement. The displacement recording device, for example a chart recorder, shall be calibrated by comparing the recorded cross-head displacement with the actual crosshead movement determined, using a dial gauge in accordance with ISO 463 or other linear displacement transducer accurate to 0,001 mm, with output linear to 0,01 % and calibrated to an accuracy of 0,1 %.

NOTE 3 Method (b) above can be inaccurate if the machine and testing jig are not adequately and reproducibly stiff when applying a force to the test piece. A machine compliance of not more than 0,01 $mm \cdot kN^{-1}$ should be employed. In addition, with this method, the force displacement traces may be neither straight nor equal in loading and unloading, as indicated schematically in the lower part of figure 4.

Alternatively, the surface strain induced by bending may be determined as follows:

Method (c)

Using one or more strain gauges mounted on the surface of the test piece. Four-point bending only shall be used. The gauge shall be mounted between the loading points on the tensile side (or on both sides) at the mid-point of the span, and shall not be longer than the span of the loading rollers. The strain gauge(s) and the associated bridge circuit shall have an accuracy of better than 0,1 % and shall be capable of resolving a strain of less than 10^{-5}.

7.3 Test pieces

The preferred test piece shape is a thin flat strip with a support span to thickness ratio of > 50 and a width to thickness ratio of > 4.

NOTE Thicker test pieces such as those described in table 3 may lead to unsatisfactory errors of measurement, unless the strain gauge method is used. Round section test pieces should have a support span to diameter ratio of >40, but should not be used in conjunction with strain gauges.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Les éprouvettes ayant au moins 5 mm de plus en longueur que l'écartement d'essai doivent être aplanies et usinées avec des faces rendues parallèles avec une précision meilleure que ±1 % pour les dimensions de *h* et de *b*, ou dans le cas de barres rondes, meilleure que ±1 % du diamètre *d*. Les barres à section rectangulaire ne doivent pas avoir de bord chanfreiné. Pour la méthode de la jauge de contrainte, les barres doivent être aplanies et usinées avec des faces rendues parallèles avec une précision comprise de ±1 % pour l'épaisseur. Au moins trois éprouvettes de chaque matériau doivent être réalisées.

7.4 Méthode d'essai

Mesurer les dimensions *b* et *h* de l'éprouvette en plusieurs points à 0,01 mm près, et prendre la valeur moyenne. Placer chaque éprouvette tour à tour dans la machine d'essai pour essayer la résistance. Appliquer progressivement une force en utilisant une vitesse de déplacement de traverse constante, pouvant être comprise entre les valeurs de 0,001 $mm \cdot min^{-1}$ et 0,5 $mm \cdot min^{-1}$. Enregistrer le déplacement ou la contrainte conformément à la méthode choisie. Quand la force maximale choisie est atteinte, changer le sens de déplacement de la machine pour décharger l'éprouvette à une valeur nulle de la force avec une même vitesse.

NOTE 1 La force sans rupture la plus importante admissible pour l'éprouvette peut être calculée en utilisant la formule adéquate du paragraphe 6.5 relative à la résistance en flexion pour des éprouvettes à section rectangulaire, et en utilisant une valeur de contrainte σ non supérieure 0,5 σ_f déterminée par les essais de rupture.

NOTE 2 L'utilisation des deux actions de chargement et de déchargement est destinée à prendre en compte le phénomène de rémanence de la machine d'essai.

Répéter le cycle de chargement au moins deux autres fois jusqu'à obtenir des résultats reproductibles. On doit essayer au moins trois éprouvettes de cette manière. Pour la méthode (b), ou pour la méthode (c) utilisant un des rouleaux supports comme point défini pour la mesure des déplacements, retirer l'éprouvette de la machine et la remplacer par une large barre d'acier ou de céramique parallèle. Répéter les cycles de chargement avec la même gamme de forces et enregistrer la flèche obtenue. On doit utiliser au moins trois cycles.

7.5 Calcul des résultats

Le module d'élasticité (module de Young) peut être déduit de la flèche de l'éprouvette et de la force appliquée, de la manière décrite ci-dessous (voir figure 4).

Méthode (a)

Choisir un niveau de force inférieur dans la gamme utilisée, celui-ci n'étant pas inférieur à 10 % de la force maximale utilisée. Choisir une force supérieure ne dépassant pas 90 % de la force maximale utilisée. Calculer les déplacements à partir des enregistrements correspondant à la variation de force comprise entre ces deux niveaux. Répéter ce calcul pour les chargements et les déchargements correspondant à chaque cycle de chargement utilisé. Vérifier les résultats et supprimer tout déplacement singulier dépassant la moyenne de toutes les mesures de plus de 5 %. Calculer la moyenne des résultats restants.

Méthode (b)

Comme pour la méthode (a) mais répéter le calcul pour les cycles de chargement réalisés afin de déterminer la déformation de la machine/du dispositif d'essai, ceci pour la même gamme de forces que pour les essais effectués avec l'éprouvette mise en place. Soustraire la flèche moyenne de la machine, de la flèche moyenne, l'éprouvette étant en place.

Méthode (c)

Comme pour la méthode (a), mais déterminer la variation de la contrainte entre les deux niveaux forces choisis.

NOTE 1 Le premier cycle de chargement peut être significativement différent des autres, car d'une part l'éprouvette repose dans le dispositif d'essai et d'autre part l'alignement de ce dispositif est en cours. La procédure ci-dessus supprime les incertitudes correspondant à l'application initiale de la charge ainsi qu'à l'inversion du sens de déplacement de la machine d'essai.

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Test pieces of lengths at least 5 mm greater than the test span shall be machined flat and parallel-faced to better than ±1 % of the *h* and *b* dimensions or, in the case of round bars, to better than ±1 % of the diameter, *d*. Rectangular section bars shall not be edge-chamfered. For the strain gauge method, bars shall be flat and parallel-faced to within ±1 % thickness. At least three test pieces of each material shall be made.

7.4 Test method

Measure the test piece dimensions *b* and *h* at several points to the nearest 0,01 mm, and take the mean value. Place each test piece in turn in the test jig, as for strength testing. Apply a force progressively using a constant cross-head displacement rate, which may be in the range 0,001 mm·min^{-1} to 0,5 mm·min^{-1}. Record the displacement or strain according to the method chosen. When the maximum force selected is achieved, reverse the machine to unload the test piece to zero force at the same rate.

NOTE 1 The upper force permissible for the test piece without fracture may be calculated using the appropriate strength test equation for rectangular section test bars in 6.5, by using a value of stress σ of not more than 0,5 σ_f determined from fracture tests.

NOTE 2 Use of both loading and unloading is intended to take into account test machine hysteresis.

Repeat the loading cycle at least two more times until repeatable results are obtained. At least three test pieces shall be tested in this manner. For method (b), or for method (a) employing one of the support rollers as a defined point for displacement measurement, remove the test piece from the machine and replace with a large parallel-sided steel or ceramic bar. Repeat the loading cycles over the same force range and record the deflection obtained. At least three cycles shall be used.

7.5 Calculation of results

The modulus of elasticity (Young's modulus) may be deduced from the test piece deflection and the applied force in the following manner (see figure 4):

Method (a)

Select a lower force level from the force range employed, of not less than 10 % of the maximum force used. Select an upper force of not more than 90 % of the maximum force used. Calculate the displacements from the recordings that correspond to the change in force between these two levels. Repeat this calculation for loading and unloading in each loading cycle employed. Inspect the results and delete any single displacement which is more than 5 % different from the average of all measurements. Calculate the average of the remaining results.

Method (b)

As for method (a) but repeat the calculation for the loading cycles performed to determine machine/jig deflection over the same force range as for the tests with the test piece in place. Subtract the average machine deflection from the average deflection with the test piece.

Method (c)

As for method (a) but determine the strain change between the two selected force levels.

NOTE 1 The first loading cycle may be significantly different from the others as the test piece beds down into the test jig and as alignment in the jig occurs. The above procedure removes uncertainties associated with the initial application of force and also with the reversal of movement direction of the testing machine.

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---
Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Le module de Young est calculé de la manière suivante:

Cas 1: flexion à trois points, pour une flèche mesurée entre le centre de l'écartement et le support d'éprouvette, en utilisant la méthode (a) ou (b):

$$E = \frac{F \times l^3 \times 10^{-3}}{4 \times f \times b \times h^3} \text{ ou } \frac{4 \times F \times l^3 \times 10^{-3}}{3 \times \pi \times f \times d^4} \quad (8)$$

Cas 2: flexion à quatre points:

Cas 2.1: Pour la flèche mesurée au point milieu entre les supports d'éprouvette, en utilisant la méthode (a) ou (b):

$$E = \frac{F \times a \times 10^{-3}}{4 \times f \times b \times h^3} (3 f^2 - 4 a^2) \text{ ou } \frac{4 \times F \times a \times 10^{-3}}{3 \times \pi \times d^4} (3 f^2 - 4 a^2) \quad (9)$$

Cas 2.2: Pour la flèche mesurée entre le support d'éprouvette et un point de chargement, en utilisant la méthode (b):

$$E = \frac{F \times a^2 \times 10^{-3}}{f' \times b \times h^3} (3 l - 4 a) \text{ ou } \frac{16 \times F \times a^2 \times 10^{-3}}{3 \times \pi \times f' \times d^4} (3 l - 4 a) \quad (10)$$

Cas 2.3: Pour la flèche mesurée entre le point milieu entre les supports et un ou deux points de chargement, en utilisant la méthode (a):

$$E = \frac{3 \times F \times a \times 10^{-3}}{4 \times f'' \times b \times h^2} (l - 2a)^2 \text{ ou } \frac{4 \times F \times a \times 10^{-3}}{\pi \times f'' \times d^4} (l - 2a)^2 \quad (11)$$

Cas 2.4: Pour la mesure directe de la contrainte sur la surface inférieure de l'éprouvette en utilisant la méthode (c):

$$E = \frac{3 \times F \times a \times 10^{-3}}{b \times h^2 \times \varepsilon} \quad (12)$$

où:

E est le module d'élasticité (module de Young), en GPa (10^3 N·mm^{-2});

F est la différence entre les niveaux supérieur et inférieur des forces choisies pour le calcul des déplacements, en N;

l est l'écartement des rouleaux supports en leur centre, en mm;

a est l'écartement en leur centre du rouleau support et du rouleau de chargement adjacent mesuré perpendiculairement à la direction de chargement, en mm;

NOTE 2 Pour la flexion en quatre points, $a = l/4$

f est la flèche moyenne mesurée au centre de l'éprouvette pour toute la gamme de forces *F* choisie, en mm;

f' est la flèche moyenne mesurée entre le rouleau support et le rouleau de chargement du système à déflexion en quatre points, sur la verticale des rouleaux de chargement mobiles, et pour la gamme de forces *F* choisie, en mm;

f'' est la flèche moyenne mesurée entre le centre de l'écartement et le point de chargement (ou la flèche moyenne si deux points de chargement sont utilisés) sur la verticale du rouleau de chargement mobile pour une flexion en quatre points, en mm;

ε est la contrainte sur la surface inférieure de l'éprouvette, entre les rouleaux de chargement, comme déterminée à partir des mesures faites sur la jauge de contraintes;

b est la largeur de l'éprouvette, en mm;

h est l'épaisseur de l'éprouvette, en mm;

d est le diamètre de l'éprouvette, en mm.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Young's modulus is calculated as follows:

Case 1: three-point bending, for deflection measured between the centre of the span and the test piece support using method (a) or (b):

$$E = \frac{F \times l^3 \times 10^{-3}}{4 \times f \times b \times h^3} \text{ or } \frac{4 \times F \times l^3 \times 10^{-3}}{3 \times \pi \times f \times d^4} \quad (8)$$

Case 2: four-point bending:

Case 2.1: For deflection measured between the test piece support and the centre point using method (a) or method (b):

$$E = \frac{F \times a \times 10^{-3}}{4 \times f \times b \times h^3} (3 f^2 - 4 a^2) \text{ or } \frac{4 \times F \times a \times 10^{-3}}{3 \times \pi \times d^4} (3 f^2 - 4 a^2) \quad (9)$$

Case 2.2: For deflection measured between the test piece support and one loading point using method (b):

$$E = \frac{F \times a^2 \times 10^{-3}}{f' \times b \times h^3} (3 l - 4 a) \text{ or } \frac{16 \times F \times a^2 \times 10^{-3}}{3 \times \pi \times f' \times d^4} (3 l - 4 a) \quad (10)$$

Case 2.3: For deflection measured between the centre of the span and one or both loading points using method (a):

$$E = \frac{3 \times F \times a \times 10^{-3}}{4 \times f'' \times b \times h^2} (l - 2a)^2 \text{ or } \frac{4 \times F \times a \times 10^{-3}}{\pi \times f'' \times d^4} (l - 2a)^2 \quad (11)$$

Case 2.4: For direct strain measurement on the lower test piece surface using method (c):

$$E = \frac{3 \times F \times a \times 10^{-3}}{b \times h^2 \times \varepsilon} \quad (12)$$

where

E is the modulus of elasticity (Young's modulus), in GPa (= 10^3 N·mm^{-2});

F is the difference between upper and lower force levels chosen for calculation of displacements, in N;

l is the distance between centres of support rollers, in mm;

a is the distance between the centre of either support roller and the adjacent loading roller measured perpendicular to the direction of loading, in mm;

NOTE 2 For quarter-point bending, $a = l/4$.

f is the average deflection measured at the centre point of the test piece over the force range F chosen, in mm;

f' is the average deflection measured between support and loading roller in four-point bending along the vertical line of the moving loading rollers for the force range F chosen, in mm;

f'' is the average deflection measured between the centre of the span and the loading point (or the average deflection if both loading points are used) along the vertical line of the moving loading roller in four-point bending, in mm;

ε is the strain on the lower surface of the test piece between the loading rollers as determined from the strain gauge measurements;

b is the width of the test piece, in mm;

h is the thickness of the test piece, in mm;

d is the test piece diameter, in mm.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

7.6 Rapport d'essai

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

a) la méthode d'essai utilisée, flexion en trois points ou quatre points (méthode A ou B, voir l'article 6) et soit le déplacement (méthode (a) ou (b)) ou la contrainte mesurée (méthode (c));

b) la vitesse de déplacement de la transverse de la machine d'essai, en $mm \cdot min^{-1}$;

c) la force crête en flexion, appliquée à l'éprouvette, en N;

d) les niveaux de force supérieur et inférieur utilisés pour déterminer le déplacement ou la contrainte en N;

e) le module d'élasticité moyen (module de Young) pour chaque éprouvette, exprimé en GPa (= 1 000 $N \cdot mm^{-2}$), au GPa le plus près.

8 Coefficient moyen de dilatation linéaire thermique

8.1 Appareillage d'essai

L'appareil auquel s'applique cette norme est normalement connu sous le nom de dilatomètre mécanique. Dans le cadre de cette norme, il est permis d'utiliser tout dispositif commercialisé adapté, pourvu qu'il satisfasse aux caractéristiques suivantes:

a) la sortie du dispositif de mesure du déplacement est linéaire à 0,5 % près, sur toute la plage normale de variations du déplacement;

b) le dispositif de mesure est placé dans un environnement dont la température est contrôlée à ±0,5 °C près;

c) la température de l'éprouvette est uniforme à ±5 °C près quand elle est chauffée ou refroidie avec une variation maximale de 2 $°C \cdot min^{-1}$;

d) le dispositif de mesure du déplacement donne une sortie stable pour une variation équivalente de 0,01 % de la longueur de l'éprouvette sur une durée de 24 h, et enregistre des variations inférieures à 0,005 % de la longueur de l'éprouvette;

e) la fixation de l'éprouvette et le matériau poussant la barre sont faits en silicium fondu ou en alumine de haute pureté pour des mesures jusqu'à 800 °C, et en alumine de haute pureté pour des mesures à des températures plus élevées;

f) le thermocouple enregistrant la température de l'éprouvette a une précision meilleure que ±0,5 °C.

Cette spécification garantit que les coefficients de dilatation linéaire thermique peuvent être mesurés avec une précision meilleure que $\pm 0{,}5 \cdot 10^{-6} \cdot K^{-1}$ sur un intervalle de température de 100 °C. Deux types d'appareil sont communément utilisés: celui à mesure directe, appareil mesurant une seule éprouvette, et celui à mesure différentielle, dans lequel on enregistre la différence de la variation de longueur entre une éprouvette et une éprouvette de référence.

8.2 Eprouvettes

Les éprouvettes doivent être des barres ou des morceaux de barre de longueur appropriée au matériel d'essai et à la nécessité d'assurer l'homogénéité de la température de l'éprouvette. On doit préparer au moins deux éprouvettes. De préférence, la section transversale de l'éprouvette ne doit pas être supérieure à 30 mm^2 afin de minimiser le retard thermique au cours du chauffage et du refroidissement. Si une section plus large est utilisée, celle-ci doit être notée dans le rapport d'essai. Les extrémités de l'éprouvette doivent être préparées de manière appropriée à l'appareil, planes pour des extrémités arrondies de la barre poussoir, ou arrondies pour faire contact avec les extrémités planes de la barre poussoir. Il convient que la longueur de l'éprouvette soit similaire à celle de l'éprouvette de référence utilisée pour régler l'appareil, ou en mode différentiel à celle utilisée comme comparateur de référence.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

7.6 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 test method used, either three-point or four-point bending (method A or B, see clause 6), and whether the displacement (method (a) or (b)) or the strain measuring (method (c)) was employed;

b) the cross-head displacement rate of the testing machine, in $mm \cdot min^{-1}$;

c) the peak flexural force applied to the test piece, in N;

d) the upper and lower force levels used for determining displacement or strain, in N;

e) the average elastic modulus (Young's modulus) for each test piece, in GPa (1 000 $N \cdot mm^{-2}$), to the nearest GPa.

8 Mean coefficient of linear thermal expansion

8.1 Test apparatus

The apparatus to which this standard applies is normally known as a mechanical dilatometer. For the purpose of this standard, any suitable commercial instrument may be used, provided that it conforms to the following requirements:

a) the output from the displacement measuring device is linear to 0,5 % over the normal displacement range;

b) the measuring device is in an environment which is temperature controlled to ±0,5 °C;

c) the temperature of the test piece is uniform to ±5 °C whilst being heated or cooled at the maximum rate of 2 $°C \cdot min^{-1}$;

d) the displacement measuring device gives an output that is stable to the equivalent of 0,01 % of the test piece length over a period of 24 h, and will resolve movements of less than 0,005 % of the test piece length;

e) the test piece holder and push-rod material is fused silica or high purity alumina for measurements up to 800 °C and of high purity alumina for measurements to higher temperatures;

f) the thermocouple recording the test piece temperature has an accuracy of better than ±0,5 °C.

This specification ensures that linear thermal expansion coefficients may be measured to an accuracy of better than $\pm 0{,}5 \cdot 10^{-6} \cdot K^{-1}$ over a temperature interval of 100 °C. Two types of instruments are in common use: the direct, single test piece instrument; and the differential instrument in which the difference in change of length between the test piece and a reference test piece is recorded.

8.2 Test pieces

The test pieces shall be rods or bars of length appropriate to the test equipment and the requirement for test piece temperature homogeneity. At least two test pieces shall be prepared. The test piece cross-section shall preferably not be greater than 30 mm^2 in order to minimize thermal lag during heating and cooling. If a larger cross-section is used this shall be stated in the test report. The ends of the test piece shall be prepared in a manner appropriate to the apparatus, either flat for contact on a rounded push-rod end, or rounded to make contact on a flat push-rod end. The length of the test piece should be similar to that of the reference test piece used to calibrate the apparatus, or in differential mode, to that used as the reference comparator.

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

8.3 Méthode d'essai

L'appareil doit être étalonné avant son utilisation par la méthode appropriée, par exemple en utilisant des matériaux de référence certifiés. Les étalonnages doivent être faits à des intervalles réguliers, selon les accords du contrat, ou chaque fois que des modifications sont faites sur le matériel, ou quand des destructions sur les parties exposées à des températures élevées sont suspectées.

Insérer l'éprouvette et réaliser au moins trois cycles thermiques avec un taux de variation maximal de chauffage et de refroidissement de 2 $K \cdot min^{-1}$, et enregistrer la dilatation thermique linéaire apparente. Il convient que la longueur de l'éprouvette soit similaire à celle de l'éprouvette de référence. La température maximale du cycle thermique utilisé doit être supérieure au moins de 20 °C à la température maximale nécessaire pour déterminer la dilatation thermique linéaire.

Les coefficients de dilatation linéaire thermique doivent être déterminés sur toutes les gammes de températures comprises entre 30 °C et 300 °C, 30 °C et 600 °C, et 30 °C et 1 000 °C selon ce qui est approprié, ou conformément aux accords passés pour toute autre gamme de températures.

NOTE 1 Les gammes de températures sont limitées par la stabilité thermique du matériau soumis à l'essai. Pour la plupart des matériaux en verre ou en verre-mica, la plage de température peut être limitée à la plage allant de 30 °C à 300 °C. Si nécessaire, le coefficient de dilatation linéaire thermique peut être déterminé sur une gamme de température allant de 30 °C à 100 °C. Dans ce cas, il convient que la vitesse de variation de la température n'excède pas 1 $K \cdot min^{-1}$, et que l'appareil soit réglé pour cette même vitesse. En outre, il convient que le chauffage débute quand la température est inférieure à 30 °C.

NOTE 2 La plage de températures pour ces mesures peut, par accord mutuel, être modifiée pour s'adapter à l'application au produit. Les données issues de telles mesures ne peuvent pas être indiquées comme étant en conformité avec cette norme.

8.4 Calcul des résultats

Calculer le coefficient moyen de dilatation thermique de l'éprouvette sur toutes les gammes de températures, en utilisant les valeurs adaptées au réglage pour ce qui concerne S, δ et $\overline{\alpha}_{app}$:

$$\overline{\alpha}_s = -\frac{S \times \Delta x - \delta}{L_s \times \Delta T} + \overline{\alpha}_{app} \qquad (13)$$

où

$\overline{\alpha}_s$ est le coefficient moyen de dilatation thermique linéaire de l'éprouvette, en K^{-1}, sur toute la plage ΔT de températures, en °C;

L_s est la longueur de l'éprouvette, en mm, à la température ambiante;

$\overline{\alpha}_{app}$ est le coefficient réel moyen de dilatation thermique linéaire de l'appareil, en K^{-1}, sur toute la plage de températures ΔT;

S est la sensibilité de l'appareil, exprimée en mm par unité de la valeur en sortie, pour le dispositif de mesure (mm, V, etc.);

Δx est le déplacement enregistré pour la plage de températures, exprimé en unités de la valeur en sortie, pour le dispositif de mesure (mm, V, etc.);

δ est la variation des références sur la plage de températures, en mm;

ΔT est la plage de températures pour la détermination, en K.

Les constantes S, δ et $\overline{\alpha}_{app}$ de l'appareil sont déterminées pendant l'étalonnage, en utilisant des matériaux de référence ou d'autres moyens.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

8.3 Method of test

The apparatus shall be calibrated before use by an appropriate method, for example by use of certified reference materials. Calibration shall be undertaken at regular intervals by agreement, or whenever changes occur to the equipment, or when damage to the high temperature parts is suspected.

Insert the test piece and perform at least three thermal cycles at a maximum heating and cooling rate of 2 K·min^{-1}, and record the apparent linear thermal expansion. The length of the test piece should be similar to that of the reference test piece. The maximum temperature of the thermal cycle employed shall be at least 20 °C greater than the maximum temperature required for the determination of linear thermal expansion.

Linear thermal expansion coefficients shall be determined over the temperature ranges 30 °C to 300 °C, 30 °C to 600 °C and 30 °C to 1 000 °C as appropriate, or by agreement over any other temperature range.

NOTE 1 The temperature ranges are limited by the thermal stability of the material under test. For most glasses and glass-mica materials, the temperature range may be limited to 30 °C to 300 °C. If required, the linear thermal expansion coefficient may be determined over the temperature range 30 °C to 100 °C. In this case, the heating rate should not exceed 1 K·min^{-1}, and the apparatus should be calibrated at this same rate. In addition, the heating should commence from a temperature below 30 °C.

NOTE 2 The temperature range for these measurements may, by mutual agreement, be altered to suit the application of the product. Data derived from such measurements may not be cited as being in accordance with this standard.

8.4 Calculation of results

Calculate the mean linear thermal expansion coefficient of the test piece over the required temperature ranges using the appropriate calibrated values of S, δ and $\overline{\alpha}_{app}$ as follows:

$$\overline{\alpha}_s = -\frac{S \times \Delta x - \delta}{L_s \times \Delta T} + \overline{\alpha}_{app} \qquad (13)$$

where

$\overline{\alpha}_s$ is the test piece mean linear thermal expansion coefficient, in K^{-1}, over temperature range ΔT in °C;

L_s is the test piece length, in mm, at room temperature;

$\overline{\alpha}_{app}$ is the effective mean linear thermal expansion coefficient of the apparatus, in K^{-1}, over temperature range ΔT;

S is the apparatus sensitivity, in mm per device output unit (mm, V, etc);

Δx is the recorded displacement over temperature range, in device output units (mm, V, etc.);

δ is the baseline shift over temperature range, in mm;

ΔT is the temperature range for the determination, in K.

The apparatus constants S, δ and $\overline{\alpha}_{app}$, are determined during calibration by the use of reference materials or other means.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

8.5 Rapport d'essai

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

a) de brèves informations sur la méthode de réglage;

b) le taux de variation de chauffage utilisé, exprimé en $°C \cdot min^{-1}$;

c) les plages de températures sur lesquelles les calculs ont été effectués, en °C;

d) les coefficients moyens de dilatation linéaire thermique, exprimés en K^{-1}, pour chaque cycle d'essai et chaque éprouvette;

e) tout écart significatif de linéarité résultant, par exemple, de changements de phase pour les matériaux contenant du silicium.

9 Capacité calorifique spécifique

9.1 Appareillage d'essai

La capacité calorifique spécifique est normalement mesurée avec un appareil breveté, utilisant le transfert dans un récipient de refroidissement d'un objet chauffé, ou par calorimétrie différentielle à balayage. Les critères importants de tels essais sont que les températures sont connues avec précision par utilisation de thermocouples réglés de manière appropriée ou de résistances thermométriques, et que l'appareil est réglé de manière appropriée par utilisation d'un matériau de référence dont les caractéristiques de capacité calorimétriques spécifiques sont connues. L'étalon habituellement utilisé est un alpha-aluminium. La précision globale de la détermination doit être meilleure que $10\ J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$.

9.2 Eprouvettes ou matériaux d'essai

Les éprouvettes peuvent être usinées dans leur masse, sous forme d'éprouvette, pour satisfaire aux exigences de l'appareillage d'essai, ou être présentées en grains ou en poudre. On doit utiliser pour l'essai au moins deux éprouvettes ou des échantillons de matériaux d'essai différents.

9.3 Méthode d'essai

Conditionner les éprouvettes ou les matériaux d'essai à 120 °C ± 5 °C pendant au moins 2 h et jusqu'à obtenir une masse constante. Peser l'éprouvette ou un échantillon de matériau d'essai avec une précision de 0,1 %. La procédure doit être répétée préalablement à chaque détermination faite sur une éprouvette ou sur un échantillon de matériau d'essai.

Le mode normal de fonctionnement du matériel d'essai permet de calculer une chaleur spécifique moyenne pour toute la plage de températures sur laquelle l'éprouvette est refroidie. Pour cette norme, cette plage de températures doit être comprise entre 100 °C et 30 °C, pour des matériaux de toutes les classes. Pour certaines classes décrites dans la CEI 60672-1 qui sont habituellement utilisées avec une température élevée, la température maximale peut être facultativement de 800 °C, après accord entre les parties.

Cet essai doit être effectué au moins trois fois sur chaque éprouvette ou sur chaque échantillon de matériau d'essai.

NOTE Si on fait un nombre suffisant de déterminations successives à différentes températures supérieures, la véritable chaleur spécifique pour une température quelconque peut être calculée à partir d'un programme de correspondance à une courbe.

9.4 Calcul des résultats

Les résultats de la détermination doivent être calculés conformément aux procédures acceptées, pour l'appareillage d'essai utilisé, et doivent être exprimés en $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$, et arrondis au $10\ J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ le plus proche.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

8.5 Test report

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

a) brief details of the calibration method;

b) the heating rate used, in $°C \cdot min^{-1}$;

c) the temperature intervals over which calculations have been made, in °C;

d) the mean linear thermal expansion coefficients, in K^{-1}, for each test cycle on each test piece;

e) any significant deviations from linearity resulting from, for example, phase changes in silica-containing materials.

9 Specific heat capacity

9.1 Test apparatus

Specific heat capacity is normally measured in proprietary apparatus, either using transfer of a heated object to a cooler reservoir, or by differential scanning calorimetry. Important aspects of such tests are that the temperatures are accurately known through use of appropriately calibrated thermocouples or resistance thermometers, and that the instrument is appropriately calibrated using a reference material of known specific heat capacity characteristics. The usual calibrant is alpha-alumina. The overall accuracy of the determination shall be better than $10\ J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$.

9.2 Test pieces or test material

The test material may be either in bulk form as test pieces machined to suit the requirements of the test apparatus, or in granular or powder form. At least two separate test pieces or samples of test material shall be used for the test.

9.3 Method of test

Condition the test pieces or test material at 120 °C ± 5 °C for at least 2 h and until constant mass is obtained. Weigh the test pieces or samples of test material to an accuracy of 0,1 %. This procedure shall be repeated prior to each determination on the test pieces or samples of test material.

The normal mode of operation of test equipment allows the calculation of a mean specific heat capacity over the temperature range through which the test piece is cooled. For the purpose of this standard, this temperature range shall be 100 °C to 30 °C for materials of all classes. For certain classes described in IEC 60672-1 which are commonly used at elevated temperature, the maximum temperature may optionally be 800 °C, subject to agreement between parties.

The test shall be performed a minimum of three times on each test piece or sample of test material.

NOTE If a sufficient number of repeat determinations at different upper temperatures is made, the true specific heat at any temperature may be calculated by a curve-fitting routine.

9.4 Calculation of results

The results of the determination shall be calculated according to accepted procedures for the apparatus employed, and shall be expressed in $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ and rounded to the nearest $10\ J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

9.5 Rapport d'essai

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

a) le type et le fabricant du matériel d'essai utilisé;

b) des informations sur les procédures de réglage;

c) des informations sur la préparation de l'éprouvette ou du matériau d'essai et son conditionnement;

d) les résultats concernant la détermination de la chaleur spécifique moyenne, en $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$, et la plage de températures sur laquelle elle a été mesurée, en °C, ceci pour chaque détermination et pour chaque éprouvette ou chaque échantillon de matériau d'essai.

10 Conductivité thermique

10.1 Appareillage d'essai

Les valeurs de la conductivité thermique pour les matériaux céramiques couverts par cette norme varient de moins de 1 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ à plus de 150 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$. On peut concevoir un appareillage d'essai adapté pour déterminer la conductivité thermique afin de couvrir uniquement une partie de cette plage. Un gradient de température élevé, sur une plaque fine est nécessaire pour des matériaux ayant une conductivité thermique inférieure à environ 5 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$. Pour des conductivités thermiques intermédiaires allant jusqu'à environ 50 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$, il est usuel d'utiliser un petit cylindre inséré entre les éprouvettes de référence (la méthode de comparaison). Pour de très fortes conductivités thermiques, il est nécessaire d'utiliser une méthode de mesure calorimétrique directe avec un grand cylindre. Une autre méthode consiste à mesurer la diffusibilité thermique du matériau et à calculer alors la conductivité thermique, pour une valeur quelconque de la température avec la relation:

$$\lambda = a \times \rho \times c_p \qquad (14)$$

où

λ est la conductivité thermique, exprimée en $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$;

a est la diffusibilité thermique, exprimée en $m^2 \cdot s^{-1}$;

ρ est la densité volumique, exprimée en $kg \cdot m^{-3}$;

c_p est la capacité calorifique thermique, exprimée en $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$.

Les informations sur l'appareillage et sur les techniques de mesure ne font pas partie du domaine d'application de cette norme. Il convient de soumettre le choix des techniques appropriées à un accord entre les parties prenantes. Cependant, dans le cadre de cette norme, la précision de la détermination doit être supérieure à ±10 %.

NOTE Il convient de donner si possible la preuve de l'étalonnage du matériel d'essai.

10.2 Eprouvettes

Les éprouvettes sont préparées conformément aux exigences du matériel particulier à utiliser.

Pour les matériaux anisotropiques, tels que les matériaux extrudés, il convient de prendre soin de s'assurer que les mesures sont faites dans la bonne direction. Il est généralement demandé que les surfaces perpendiculaires au flux de chaleur soient rectifiées planes et parallèles à 0,05 mm près.

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

9.5 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 type and manufacturer of the test equipment employed;

b) details of calibration procedures;

c) details of test piece or test material preparation and conditioning;

d) results of determination of mean specific heat capacity, in $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$, and the temperature range over which it was measured, in °C, for each determination on each test piece or sample of test material.

10 Thermal conductivity

10.1 Test apparatus

The thermal conductivity values for ceramic materials covered by this standard vary from less than 1 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ to greater than 150 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$. Suitable test apparatus for the determination of thermal conductivity can be designed to cover only a part of this range. A high temperature gradient through a thin plate is required for materials of thermal conductivity less than about 5 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$. For intermediate thermal conductivities up to about 50 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$, a short cylinder sandwiched between reference test pieces (the comparator method) is common. For very high thermal conductivities, a long cylinder method employing direct calorimetric measurement is required. An alternative is to measure the thermal diffusivity of the material, and then calculate the thermal conductivity for any value of temperature through the relationship:

$$\lambda = a \times \rho \times c_p \qquad (14)$$

where

λ is the thermal conductivity, in $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$;

a is the thermal diffusivity, in $m^2 \cdot s^{-1}$;

ρ is the density, in $kg \cdot m^{-3}$;

c_p is the specific heat capacity, in $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$.

Details of apparatus and measurement techniques are outside the scope of this standard. The selection of appropriate techniques should be subject to agreement between parties. However, for the purpose of this standard the accuracy of determination shall be better than ±10 %.

NOTE Where possible, evidence of calibration of the test equipment should be given.

10.2 Test pieces

Test pieces are prepared in accordance with the requirements for the particular equipment to be used.

In anisotropic materials, such as extruded materials, care should be taken to ensure that the measurement is made in a relevant direction. It is generally required that surfaces perpendicular to the heat flow should be ground flat and parallel to within 0,05 mm.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

10.3 Méthode d'essai

Pour la mesure directe de la conductibilité thermique, un gradient de température uniforme et stable est établi entre les deux surfaces perpendiculaires au flux de chaleur. Les températures des deux surfaces sont enregistrées. La surface de la section transversale de l'éprouvette est mesurée. La vitesse du flux de chaleur traversant l'éprouvette est calculée conformément à la méthode du chauffage (par exemple à partir de l'énergie électrique entrante) ou du refroidissement (par exemple avec un calorimètre à flux liquide).

Pour mesurer la diffusibilité thermique, une impulsion transitoire chauffante est appliquée sur une des faces de l'éprouvette fine, et on enregistre l'arrivée de l'impulsion sur l'autre face.

Quelle que soit la méthode utilisée, la conductivité thermique doit être mesurée comme étant la moyenne sur la plage de températures allant de 30 °C à 100 °C, sauf pour les matériaux de classe C 500, pour lesquels la plage de températures doit être de 30 °C à 800 °C.

NOTE La plage de températures pour ces mesures peut, par accord mutuel, être modifiée pour s'adapter à l'application du produit. Les données issues de telles mesures ne peuvent pas être indiquées comme provenant d'une conformité à cette norme.

10.4 Calcul des résultats

Les résultats sont calculés conformément aux méthodes normalement utilisées pour les techniques particulières employées, y compris les corrections nécessaires résultant des étalonnages ou d'autres estimations sur les erreurs systématiques.

10.5 Rapport d'essai

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

a) le type de matériau et la préparation de l'éprouvette, y compris des informations sur l'orientation due au procédé de fabrication;

b) de brèves informations sur la méthode utilisée et les réglages correspondants;

c) les valeurs de la conductivité thermique sur la plage de températures demandée, exprimées en $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$.

11 Tenue aux chocs thermiques

NOTE Cette méthode d'essai est conçue pour donner un classement selon leurs performances des matériaux soumis à une trempe à l'eau. Le classement obtenu dans les conditions d'essai prescrites ne sera pas le même avec d'autres conditions, ou pour des éprouvettes ayant des sections transversales différentes. Pour établir les performances des composants en conditions de service, il est nécessaire de simuler ces conditions par un essai de choc thermique. De tels essais ne font pas partie du domaine d'application de cette norme.

11.1 Principe

Cet essai soumet des éprouvettes préchauffées à un brusque refroidissement par transfert dans un bain d'eau, suivi d'un examen des dommages. On donne deux méthodes:

Méthode A :La résistance en flexion des barres est mesurée après trempe. Une chute de la résistance des barres par comparaison avec des barres n'ayant pas subi de choc thermique indique qu'une craquelure thermique s'est produite.

Méthode B: Les éprouvettes sont essayées à la teinture conformément à l'article 4, mais à la pression ambiante. L'apparition de craquelures visibles après trempe indique que des craquelures thermiques se sont produites. Cet essai peut seulement être utilisé avec des matériaux qui ont des niveaux de porosité ouverte inférieurs à 1 %.

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---
Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

10.3 Method of test

For the direct measurement of thermal conductivity, a stable uniform thermal gradient is established between the two surfaces perpendicular to heat flow. The temperatures of the two surfaces are recorded. The cross-sectional area of the test piece is measured. The heat flow rate through the test piece is calculated according to the method of heating (for example from the electrical power input) or of cooling (for example by a water-flow calorimeter).

For measurement of thermal diffusivity, a transient heating pulse is applied to one face of the thin test piece, and the arrival of the pulse at the other face is recorded.

Whichever method is used, the thermal conductivity shall be measured as a mean over the temperature range 30 °C to 100 °C, with the exception of class C 500 materials for which the temperature range shall be 30 °C to 800 °C.

NOTE The temperature range for these measurements may, by mutual agreement, be altered to suit the application of the product. Data derived from such measurements may not be cited as being in accordance with this standard.

10.4 Calculation of results

Results are calculated according to the normal methods used for the particular techniques employed, including corrections required as a result of calibrations or other estimates of systematic errors.

10.5 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 material type and the preparation of the test piece, including details of orientation relative to processing directions;

b) brief details of the method employed and its calibration;

c) thermal conductivity values over the temperature ranges required, in $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$.

11 Resistance to thermal shock

NOTE This test method is intended to give a performance ranking for materials under conditions of water quenching. The ranking obtained under the prescribed test conditions will not be the same under alternative conditions, or for different test piece cross-sections. In order to assess the performance of components in service conditions, those conditions need to be simulated in a thermal shock test. Such tests are outside the scope of this standard.

11.1 Principle

This test subjects pre-heated test pieces to a rapid cooling by transfer to a water bath, followed by inspection for damage. Two methods are given:

Method A: The flexural strength of the bars is measured after quenching. A drop in the strength of the bars compared with un-shocked bars indicates that thermal cracking has occurred.

Method B: The test pieces are dye-tested according to clause 4, but at ambient pressure. The appearance of distinct cracks after quenching indicates that thermal cracking has occurred. This test may only be used for materials which have open porosity levels of less than 1 %.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

11.2 Appareillage d'essai

Cet essai nécessite le matériel suivant:

a) une étuve ayant des dimensions suffisantes pour obtenir une température homogène dans un volume correspondant à 100 mm × 100 mm × 100 mm, et pour laquelle on peut contrôler la température à ±2 °C près. L'aptitude à la température supérieure doit être d'au moins 1 000 °C pour tous les types de matériaux couverts par cette norme.

b) un bain d'eau de volume suffisant pour que sa température ne s'élève pas de plus de 1 °C après immersion des éprouvettes. La température du bain doit initialement être comprise entre 10 °C et 20 °C;

c) pour la méthode A, un matériel d'essai de résistance comme spécifié à l'article 6.

11.3 Eprouvettes

L'éprouvette, à la fois pour la méthode A et la méthode B, doit être constituée d'une barre de section circulaire ayant 10 mm de diamètre et une longueur de 120 mm. Il convient que le nombre minimal d'éprouvettes préparées pour cet essai soit de 30, réparties aléatoirement par lots de cinq.

NOTE Des barres ayant 10 mm de diamètre donnent une tenue aux chocs thermiques qui ne dépend pas fortement du diamètre réel. Des barres de plus petit diamètre nécessiteraient des chocs plus sévères pour réaliser leur rupture. Des barres ayant d'autres formes, en particulier celles comportant des bords tranchants, ont plus de chances d'être brisées par des chocs moins sévères. On peut utiliser d'autres dimensions ou d'autres formes, sous réserve d'un accord, mais elles ne répondent pas à la procédure décrite dans cette norme, et cette norme ne peut pas être citée comme méthode d'essai.

11.4 Méthodes d'essai

Méthode A

On place au moins cinq éprouvettes dans une étuve, on chauffe et on maintient pendant 30 min à la température de:

– 100 °C au-dessus de la température du bain de trempe pour tous les matériaux en céramique, les matériaux en verre-céramique, les matériaux en verre-mica et en verre trempé;

– 35 °C au-dessus de la température du bain de trempe pour tous les matériaux en verre non trempé.

Si on essaye des matériaux en céramique prévus pour démontrer une forte résistance aux chocs thermiques, il est possible d'utiliser une autre différence de température initiale, supérieure à 100 °C.

NOTE 1 La classification des matériaux donnée dans la CEI 60672-3 peut être utilisée comme guide pour choisir la différence de température utilisée comme point de départ.

Après chauffage, on retire les éprouvettes de l'étuve, puis on les immerge rapidement et complètement dans le bain d'eau dans un délai minimal, et on les laisse dans ce bain pendant 5 min. On les retire alors du bain et on les sèche dans une étuve à 120 °C ± 5 °C pendant au moins 2 h. On détermine alors la tenue en flexion conformément à l'article 6.

On soumet également au même essai de rupture un lot non traité de cinq éprouvettes similaires. Si la résistance moyenne des éprouvettes soumises à un choc thermique est inférieure au deux tiers de celle des éprouvettes non traitées, on chauffe un autre lot à une température inférieure de 50 °C (pour des éprouvettes en céramique et en verre trempé) ou inférieure de 20 °C (pour des éprouvettes en verre), et on répète la procédure.

Si la résistance moyenne du lot traité est similaire à celle du lot non traité, on traite un autre lot de cinq éprouvettes avec une température d'étuve supérieure de 50 °C (pour des éprouvettes en céramique et en verre trempé) ou supérieure de 20 °C (pour des éprouvettes en verre), et on répète la procédure.

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

11.2 Test apparatus

This test requires the following apparatus:

a) an oven of sufficient dimensions to obtain a homogenous temperature over a volume of 100 mm × 100 mm × 100 mm, and capable of being controlled to ±2 °C in temperature. The upper temperature capability shall be at least 1 000 °C for all types of material covered by this standard.

b) a water bath of sufficient capacity such that its temperature does not rise by more than 1 °C after immersion of the test pieces. The temperature of the bath shall initially be between 10 °C and 20 °C.

c) for method A, strength test equipment as specified in clause 6.

11.3 Test pieces

The test pieces for both method A and method B shall be round-section rods, 10 mm in diameter and 120 mm long. The minimum number of test pieces that should be prepared for this test is 30, divided randomly into batches of five.

NOTE Rods of 10 mm diameter give thermal shock behaviour that is not strongly dependent on exact diameter. Rods of smaller diameter would require more severe shock to achieve fracture. Other shapes, particularly those with sharp edges, are likely to fracture following less severe shocks. Other sizes or shapes may be used subject to agreement, but do not conform to the procedure described in this standard, and this standard may not be cited as the test method.

11.4 Method of test

Method A

At least five test pieces are placed in the oven and heated to and maintained for 30 min at a temperature:

– 100 °C above the water bath temperature for all ceramic materials, glass-ceramic materials, glass-mica materials and toughened glass;

– 35 °C above the water bath temperature for all non-toughened glass materials.

When testing ceramic materials expected to show high resistance to thermal shock, it is permissible to employ an initial temperature difference greater than 100 °C.

NOTE 1 The materials classification given in IEC 60672-3 may be used as a guide for selecting the temperature difference used as a starting point.

After heating, the test pieces are removed from the oven and immersed quickly and completely in the water bath with minimum delay, remaining in the bath for 5 min. They are then removed and dried in an oven at 120 °C ± 5 °C for at least 2 h. The flexural strength is then determined in accordance with clause 6.

An untreated batch of five similar test pieces is also subjected to the same fracture test. If the mean strength of the thermally shocked test pieces is less than two-thirds of that of the untreated test pieces, a further batch is heated at a temperature 50 °C lower (for ceramic and toughened glass test pieces) or 20 °C lower (for glass test pieces), and the test procedure is repeated.

If the mean strength of the treated batch is similar to that of the untreated batch, a further batch of five test pieces is treated at an oven temperature 50 °C higher (for ceramic and toughened glass test pieces) or 20 °C higher (for glass test pieces), and the test procedure is repeated.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Si des lots, distingués par des températures de chauffage initiales de 50 °C uniquement (pour les céramiques et le verre trempé) ou de 20 °C uniquement (pour les verres), indiquent une variation de la tenue aux chocs supérieure à un tiers de la tenue initiale, on essaye d'autres lots avec des températures intermédiaires pour définir plus précisément la variation de température correspondant à une chute soudaine de la tenue aux chocs.

La différence entre cette température et celle du bain est la tenue aux chocs thermique correspondant à cet essai. Certains matériaux, notamment ceux à gros grains ou à fort degré de porosité, peuvent ne pas indiquer de variation brusque de la résistance pour une différence de température critique, mais plutôt un lent déclin de cette résistance avec l'accroissement de la température initiale. Dans de tels cas, on choisit la différence de températures pour laquelle la tenue au choc a chuté d'un tiers par rapport à la tenue du lot non traité.

Méthode B

Cette méthode doit uniquement être utilisée pour les matériaux qui démontrent des niveaux de porosité ouverte de moins de 1 %. Elle n'est pas appropriée pour les matériaux poreux ouverts ou à gros grains.

On utilise la même procédure que pour la méthode A, y compris le même nombre d'éprouvettes. On ne fait pas d'essai de résistance. A la place, après immersion et séchage, les éprouvettes doivent être colorées par immersion dans une solution colorante adéquate, lavées, séchées et contrôlées pour déceler des craquelures. Une solution colorante teintée (voir 4.4) est adaptée aux éprouvettes de couleur claire, mais il convient d'utiliser un colorant UV breveté pour des éprouvettes de teinte foncée. L'apparition des craquelures indique l'échec de l'essai aux chocs thermiques. L'essai est répété en utilisant la procédure décrite dans la méthode A pour choisir la température initiale de l'éprouvette.

La tenue critique aux chocs thermiques est définie par la différence de températures pour laquelle les premiers signes de craquelure sont décelés dans deux des éprouvettes du lot de cinq éprouvettes.

NOTE 2 Pour la majorité des matériaux ayant une faible porosité, cette différence de températures est presque équivalente à la différence de températures pour laquelle existe une diminution significative de la tenue, déterminée par la méthode A.

11.5 Rapport d'essai

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

a) les informations sur la fabrication et sur la préparation de surface des éprouvettes;

b) la méthode d'essai utilisée (A ou B);

c) dans le cas où la méthode A a été utilisée, si on a utilisé l'essai de flexion en trois ou quatre points;

d) la différence de températures, en °C, entre les éprouvettes chaudes et le bain d'eau nécessaire pour provoquer soit une perte de résistance en flexion correspondant à un tiers de la résistance moyenne initiale (méthode A), soit des craquelures visibles dans au moins deux des lots de cinq éprouvettes (méthode B).

12 Température de transition vitreuse (pour les matériaux en verre uniquement)

12.1 Appareillage nécessaire

Cet essai doit être réalisé de la manière indiquée dans la CEI 61006. On doit utiliser le même appareillage que celui utilisé pour déterminer le coefficient de dilatation thermique linéaire, (voir 8.1).

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

When batches separated by initial heating temperatures of only 50 °C (ceramics and toughened glass) or only 20 °C (glasses) show a change in strength greater than one-third of the original strength, further batches are tested at intermediate temperatures in order to define more closely the temperature difference for the sudden drop in strength.

The difference between this temperature and that of the bath is the thermal shock resistance for the purpose of this test. Some materials, notably those with coarse grain size or high levels of porosity, may not show a sudden change in strength at a critical temperature difference, but more of a slow decline in strength with increasing initial temperature. In such cases, the temperature difference is chosen at which the strength has fallen by one-third from the untreated strength.

Method B

This method shall be used only for materials which show open porosity levels of less than 1 %. It is inappropriate for open-porous or coarse-grained materials.

The same procedure as for method A is used, including the same number of test pieces. No strength test is performed. Instead, after immersion and drying, the test pieces shall be dye-tested by immersion in suitable dye solution, washed, dried and examined for cracks. A coloured dye solution (see 4.4) is suitable for light-coloured test pieces, but a proprietary UV dye should be used for dark-coloured test pieces. The appearance of cracks indicates failure in the thermal shock test. The test is repeated using the procedure described in method A for selection of initial test piece temperature.

The critical thermal shock resistance is defined as that temperature difference at which the first signs of cracking are detected in any two test pieces of a five lot batch.

NOTE 2 This is almost exactly equivalent to the temperature difference at which there is a significant reduction in strength determined by method A for the majority of low-porosity materials.

11.5 Test report

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

a) details of the manufacture and surface preparation of the test pieces;

b) whether method A or method B was used;

c) if method A was used, whether three or four-point strength testing was employed;

d) the temperature difference, in °C, between the heated test pieces and the water bath required to cause either a loss in flexural strength of one-third of the original average strength (method A), or visible cracking in at least two of the five lot batches (method B).

12 Glass transition temperature (for glass materials only)

12.1 Apparatus required

This test shall be performed in the same manner as given in IEC 61006.The same apparatus as used for determination of linear thermal expansion coefficient (see 8.1) shall be used.

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

12.2 Eprouvettes

Les éprouvettes doivent être aux dimensions adéquates pour l'appareil utilisé pour déterminer la dilatation linéaire thermique. Avant de réaliser l'essai, les éprouvettes doivent être recuites conformément à l'ISO 7884-8, c'est-à-dire à une température supérieure de 30 °C par rapport à la valeur supposée de la température de transition, T_g, pendant au moins 30 min, et refroidies à une vitesse de refroidissement ne dépassant pas 1 °C·min^{-1} jusqu'à au moins 100 °C en dessous de la température supposée T_g. La vitesse du refroidissement qui suit n'est pas critique.

12.3 Méthode d'essai

Placer chaque éprouvette tour à tour dans l'appareil mesurant la dilatation thermique linéaire, et augmenter la température à raison de 5 °C·min^{-1} ± 1 °C·min^{-1}, en enregistrant la dilatation linéaire thermique. Cesser le chauffage et refroidir l'éprouvette quand on enregistre une diminution de la longueur de l'éprouvette (Figure 5). Tracer un graphique représentant la dilatation thermique en fonction de la température. Tracer des tangentes, en dessus et au-dessous du point d'inflexion. Les extrapoler jusqu'à ce qu'elles se coupent, et déterminer la température au point d'intersection. Cette valeur correspond à la température de transition pour cette norme, et elle correspond à une viscosité dynamique vitreuse d'approximativement $10^{12,3}$ N·s·m^{-2} (CEI 61006).

On doit réaliser l'essai sur deux éprouvettes et prendre la moyenne des résultats. Si les deux résultats diffèrent de plus de 30 °C, répéter l'essai en utilisant deux nouvelles éprouvettes jusqu'à ce que les résultats soient cohérents à l'intérieur de ces 30 °C.

12.4 Rapport d'essai

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

a) le traitement de recuisson concernant les éprouvettes;

b) les températures de transition vitreuse, en °C, déterminées à partir des éprouvettes individuelles, et le résultat moyen, arrondi à 10 °C près.

13 Rigidité diélectrique

13.1 Principe

On applique une tension croissante, à la fréquence industrielle, au travers des faces d'une éprouvette en forme de disque jusqu'à produire une perforation. On décrit deux méthodes:

Méthode A: On place un disque fin et plat, soit brut de cuisson, soit usiné, entre deux billes en acier ou en laiton auxquelles on applique la tension.

Méthode B: On place un disque avec une concavité hémisphérique sur une des faces (obtenue par pressage ou usinage) (figure 6) entre une sphère en acier ou en laiton placée dans le renfoncement et une électrode plane, entre lesquelles on applique une tension.

NOTE 1 Ces deux méthodes ne donnent pas des résultats identiques. La méthode B peut donner des résultats quelque peu variables, en fonction de la manière avec laquelle l'éprouvette a été mise en forme. Il est préférable d'adopter la méthode A. Les résultats des deux méthodes dépendent très probablement de la méthode de fabrication de l'éprouvette.

NOTE 2 La tension de claquage dépend beaucoup de la porosité du matériau à l'endroit de la perforation. La porosité et la physionomie des microstructures affectant les propriétés électriques peuvent dépendre de la méthode de fabrication.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

12.2 Test pieces

The test pieces shall be of suitable dimensions for the linear thermal expansion apparatus used. Before conducting the test, the test pieces shall be annealed in accordance with ISO 7884-8, i.e. at a temperature 30 °C above an assumed value of the transition temperature, T_g for a period of at least 30 min, and cooled at a rate not exceeding 1 °C·min^{-1} to at least 100 °C below the assumed T_g temperature. The subsequent rate is not critical.

12.3 Test method

Place each test piece in turn in the linear thermal expansion measurement apparatus, and heat at a rate of 5 °C·min^{-1} ± 1 °C·min^{-1}, recording the linear thermal expansion. When there is a recorded decrease in test piece length (Figure 5), stop the heating and cool the test piece. Draw a graph of thermal expansion against temperature. Fit straight lines to the graph above and below the inflection point. Extrapolate the lines until they cross, and determine the temperature of the cross-over. This is the transition temperature for the purpose of this standard, and corresponds to a glass dynamic viscosity of approximately $10^{12,3}$ N·s·m^{-2} (IEC 61006).

The test shall be performed on two test pieces, and the average result taken. If two results differ by more than 30 °C, repeat the test using fresh test pieces until results consistent to within 30 °C are achieved.

12.4 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 annealing treatment given to the test pieces;

b) the glass transition temperatures, in °C, determined from the individual test pieces, and the mean result, rounded to the nearest 10 °C.

13 Electric strength

13.1 Principle

A rising voltage of power frequency is applied across the faces of a disc test piece until puncture occurs. Two methods are described:

Method A: A thin flat disc, either "as-fired" or machined, is placed between two steel or brass spheres to which the voltage is applied.

Method B: A disc with a hemispherical recess (pressed or machined) in one side (figure 6) is positioned between a steel or brass sphere placed in the recess and a flat plate electrode, across which the voltage is applied.

NOTE 1 These two methods do not give identical results. Method B is likely to give somewhat variable results depending upon the manner in which the test piece is shaped. Method A is to be preferred. The results from both methods are likely to depend on the method of test piece manufacture.

NOTE 2 The breakdown voltage depends greatly on the porosity of the material at the location of puncture. The porosity and other microstructural features affecting electrical properties may depend on the method of manufacture.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

13.2 Appareillage d'essai

L'appareillage électrique utilisé pour l'essai doit être conforme aux exigences de la CEI 60243-1. La disposition générale est illustrée par la figure 7 pour la méthode A. Les autres éléments nécessaires à cet essai comprennent:

a) une étuve capable de maintenir la température à 120 °C ± 5 °C;

b) un dessiccateur;

c) un micromètre conforme à l'ISO 3611, avec des touches planes pour la méthode A et des touches sphériques pour la méthode B.

13.3 Eprouvettes

On doit essayer au moins 10 éprouvettes.

Méthode A: Un disque de 80 mm de diamètre et de 2,5 mm ± 0,5 mm d'épaisseur, aux faces parallèles à ±0,05 mm près.

Méthode B: Un disque ayant les dimensions illustrées par le tableau 4. Une des faces du disque comprend un renfoncement hémisphérique (voir figure 6). La surface du renfoncement et la surface opposée doivent être revêtues d'une couche épaisse conductrice.

Tableau 4 – Dimensions des éprouvettes pour la méthode B (voir également la figure 6)

Dimensions mm			**Diamètre des sphères**
a	**b**	**R**	mm
3 à 12	50 à 80	$10\ ^{+0,5}_{-0,0}$	20
3 à 6	25	$5\ ^{+0,5}_{-0,0}$	10

13.4 Méthodes d'essai

Mesurer l'épaisseur des éprouvettes comme suit. Pour la méthode A, mesurer l'épaisseur avec une précision de ±0,02 mm, à l'aide d'un micromètre à touches planes, en un point aussi proche que possible du point de perforation supposée. Pour la méthode B, mesurer l'épaisseur avec une précision de ±0,02 mm, au centre du renfoncement hémisphérique, en utilisant un micromètre à touches sphériques.

Sécher l'éprouvette pendant 2 h, à la température de 120 °C ± 5 °C et laisser refroidir dans un dessiccateur. Réaliser l'essai à une température comprise entre 15 °C et 35 °C.

Insérer l'éprouvette dans l'assemblage d'essai et l'immerger dans un milieu diélectrique adapté de résistivité suffisante pour permettre la réalisation de l'essai de manière satisfaisante. On doit noter la résistivité dans les résultats.

NOTE La résistivité du milieu nécessitera généralement de se situer dans une plage comprise entre 10^8 Ωm et 10^{10} Ωm, pour des éprouvettes en céramique, et entre 10^4 Ωm et 10^6 Ωm pour des éprouvettes en verre afin d'éviter des décharges à proximité des bords de l'éprouvette. De manière caractéristique une huile de transformateur peut être utilisée après accord entre les parties prenantes. La résistivité du milieu peut être déterminée en utilisant la méthode décrite dans la CEI 60247 [1].

Appliquer rapidement une tension égale à environ la moitié de la tension de claquage envisagée, puis augmenter la tension avec une vitesse telle que la perforation se produise dans les 10 s à 20 s après le début de l'essai. Noter la tension au moment de la perforation. Si le nombre minimal d'essais a été réalisé, ils doivent être considérés comme satisfaisants, si le temps moyen mis pour effectuer cette perforation est compris dans cette plage, même si parfois les temps mis pour obtenir la perforation se situent hors de celle-ci.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

13.2 Test apparatus

The electrical apparatus used for testing shall be in accordance with the requirements of IEC 60243-1. The general arrangement is shown in figure 7 for method A. Other apparatus includes:

a) an oven capable of maintaining 120 °C ± 5 °C;

b) a desiccator;

c) a micrometer in accordance with ISO 3611, with flat anvils for method A or ball-ended anvils for method B.

13.3 Test pieces

At least 10 test pieces shall be tested.

Method A: A disc of diameter 80 mm and thickness 2,5 mm ± 0,5 mm, parallel-faced to ±0,05 mm.

Method B: A disc of dimensions shown in table 4. One face of the disc includes a hemispherical recess (see figure 6). The surface of the recess and the opposite surface shall be coated with a thick conductive layer.

Table 4 – Dimensions of test pieces for method B (see also figure 6)

Dimensions mm			**Diameter of sphere** mm
a	**b**	**r**	
3 to 12	50 to 80	$10\ ^{+0,5}_{-0,0}$	20
3 to 6	25	$5\ ^{+0,5}_{-0,0}$	10

13.4 Methods of test

Measure the thickness of the test pieces as follows. For method A measure the thickness to an accuracy of ±0,02 mm with a flat anvil micrometer at a point as close as possible to the intended puncture point. For method B, measure the thickness to an accuracy of ±0,02 mm at the centre of the hemispherical recess using a ball-ended micrometer.

Dry the test piece for 2 h at 120 °C ± 5 °C and cool in a desiccator. Carry out the test at a temperature between 15 °C and 35 °C.

Insert the test piece into the test assembly and immerse in a suitable dielectric medium of resistivity sufficient to enable the tests to be performed satisfactorily. The resistivity shall be quoted in the test results.

NOTE The resistivity of the medium will generally need to lie in a range of 10^8 Ωm to 10^{10} Ωm for ceramic test pieces and 10^4 Ωm to 10^6 Ωm for glass test pieces to prevent discharge around the edge of the test piece. Typically, a transformer oil might be used, subject to agreement between parties. Resistivity of the medium may be determined using the method described in IEC 60247 [1].

Quickly apply a voltage equal to about half the anticipated puncture voltage, then increase the voltage at a rate such that puncture occurs within 10 s to 20 s of the start of the test. Record the voltage at puncture. When the minimum number of tests has been performed, they shall be deemed satisfactory if the mean time to puncture is in this range, even if some of the times to puncture are outside this range.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

13.5 Calcul des résultats

On déduit la valeur de la rigidité diélectrique *E* des formules suivantes:

Méthode A:

$$E = \frac{U}{d} \tag{15}$$

Méthode B:

$$E = k \times U \tag{16}$$

où

E est la rigidité diélectrique, en kV·mm^{-1};

U est la tension de claquage (valeur efficace) en kV;

d est l'épaisseur de l'éprouvette, en mm;

k est l'épaisseur réciproque corrigée de la non-uniformité du champ électrique, en mm^{-1}.

Le tableau 5 donne les valeurs du facteur de correction *k* pour différentes valeurs de l'épaisseur d'éprouvette.

Tableau 5 – Valeurs de *k* pour différentes valeurs d'épaisseur d'éprouvette

Epaisseur de l'éprouvette, *d* mm	**Epaisseur réciproque corrigée, *k*, mm^{-1} pour une hémisphère de rayon *r***		**Epaisseur de l'éprouvette, *d*** mm	**Epaisseur réciproque corrigée, *k*, mm^{-1} pour une hémisphère de rayon *r***	
	10 mm	**5 mm**		**10 mm**	**5 mm**
1,35	0,809	0,879	1,50	0,735	0,805
1,36	0,803	0,874	1,51	0,730	0,801
1,37	0,798	0,868	1,52	0,726	0,797
1,38	0,793	0,863	1,53	0,722	0,792
1,39	0,787	0,858	1,54	0,717	0,788
1,40	0,782	0,853	1,55	0,713	0,784
1,41	0,777	0,848	1,56	0,709	0,780
1,42	0,772	0,843	1,57	0,705	0,776
1,43	0,767	0,838	1,58	0,701	0,772
1,44	0,762	0,833	1,59	0,697	0,768
1,45	0,758	0,828	1,60	0,693	0,764
1,46	0,753	0,823	1,61	0,689	0,760
1,47	0,748	0,819	1,62	0,685	0,756
1,48	0,744	0,814	1,63	0,681	0,752
1,49	0,739	0,810	1,64	0,678	0,749
			1,65	0,674	0,745

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

13.5 Calculation of results

The value of E, the electric strength, is deduced from the following formulae:

Method A:

$$E = \frac{U}{d} \tag{15}$$

Method B:

$$E = k \times U \tag{16}$$

where

E is the electric strength, in kV mm^{-1};

U is the breakdown voltage (root mean square value), in kV;

d is the thickness of test piece, in mm;

k is the reciprocal thickness corrected for electrical field non-uniformity, in mm^{-1}.

Table 5 gives values of k for various values of the thickness of the test piece.

Table 5 – Values of *k* for various values of thickness of test pieces

Thickness of test piece *d* mm	Corrected reciprocal thickness, *k*, mm^{-1}, for hemisphere of radius *r*		Thickness of test piece *d* mm	Corrected reciprocal thickness, *k*, mm^{-1}, for hemisphere of radius *r*	
	10 mm	5 mm		10 mm	5 mm
1,35	0,809	0,879	1,50	0,735	0,805
1,36	0,803	0,874	1,51	0,730	0,801
1,37	0,798	0,868	1,52	0,726	0,797
1,38	0,793	0,863	1,53	0,722	0,792
1,39	0,787	0,858	1,54	0,717	0,788
1,40	0,782	0,853	1,55	0,713	0,784
1,41	0,777	0,848	1,56	0,709	0,780
1,42	0,772	0,843	1,57	0,705	0,776
1,43	0,767	0,838	1,58	0,701	0,772
1,44	0,762	0,833	1,59	0,697	0,768
1,45	0,758	0,828	1,60	0,693	0,764
1,46	0,753	0,823	1,61	0,689	0,760
1,47	0,748	0,819	1,62	0,685	0,756
1,48	0,744	0,814	1,63	0,681	0,752
1,49	0,739	0,810	1,64	0,678	0,749
			1,65	0,674	0,745

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

13.6 Rapport d'essai

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

a) la méthode de fabrication des éprouvettes;

b) la méthode d'essai utilisée (A ou B);

c) le milieu utilisé pour l'immersion et sa résistivité, en Ω·m;

d) les valeurs efficaces individuelles de la rigidité diélectrique exprimées, en $kV \cdot mm^{-1}$, et les temps mis pour obtenir la perforation exprimés en s, pour chaque éprouvette;

e) la rigidité diélectrique efficace moyenne et son écart type, tous deux exprimés en $kV \cdot mm^{-1}$.

14 Tension de tenue

NOTE Cet essai constitue une alternative à l'essai de rigidité diélectrique décrit dans l'article 13. Au lieu de déterminer la tension de claquage à court terme, on applique un niveau de tension prédéterminé à l'éprouvette. Il convient qu'il n'y ait pas de claquage dans la minute qui suit.

14.1 Appareillage d'essai

Comme défini en 13.2.

14.2 Eprouvettes

Comme défini en 13.3 pour la méthode B, mais le nombre minimal d'éprouvettes est de 10.

14.3 Méthode d'essai

Utiliser la procédure définie en 13.4 pour mesurer, sécher les éprouvettes, et monter l'éprouvette sur l'appareil.

La tension doit être élevée à la valeur demandée aussi rapidement que possible, en liaison avec la précision de cette réalisation, sans provoquer la moindre surtension transitoire. Maintenir cette tension pendant 1 min. Le choix du niveau de tension pour cet essai doit être soumis à un accord entre les parties. En l'absence d'un tel accord, on doit appliquer les valeurs données dans la CEI 60672-3.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

13.6 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 method of manufacture of the test pieces;

b) the test method used (A or B);

c) the immersion medium used, and its resistivity in Ω·m;

d) individual values of root mean square (r.m.s.) electrical strength, in $kV \cdot mm^{-1}$, and times to puncture, in s, for each of the test pieces;

e) the average r.m.s. electrical strength and its standard deviation, in $kV \cdot mm^{-1}$.

14 Withstand voltage

NOTE This test is an alternative to the electric strength test described in clause 13. Instead of determining the short-term puncture voltage, a preset voltage level is applied to the test piece. No failures should occur within the following minute.

14.1 Test apparatus

As defined in 13.2.

14.2 Test pieces

As defined in 13.3 for method B, with a minimum number of test pieces of 10.

14.3 Test method

Use the procedure as defined in 13.4 for measuring and drying the test pieces, and for mounting the test piece in the apparatus.

The voltage shall be raised to the required value as quickly as possible, consistent with its accurate attainment, without any transient overvoltage. Maintain this voltage for 1 min. The choice of voltage level for this test shall be subject to agreement between parties. In the absence of such an agreement, the values given in IEC 60672-3 shall be used.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

14.4 Rapport d'essai

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

a) la méthode de préparation des éprouvettes;

b) le milieu d'immersion utilisé et sa résistivité, en Ω·m;

c) l'épaisseur de chaque éprouvette, en mm;

d) le niveau de préréglage de la tension de tenue, en kV, et s'il y a eu accord préalable entre les parties;

e) si les éprouvettes ont ou non supporté la tension spécifiée.

15 Permittivité relative, coefficient de température de permittivité et facteur de dissipation

15.1 Méthode d'essai

Cet essai doit être réalisé conformément à la méthode décrite dans la CEI 60250. On doit utiliser si nécessaire des longueurs d'ondes centimétriques et millimétriques.

NOTE Il convient de décider pour cet essai la gamme de températures par accord entre les parties prenantes. Dans le cadre de cette spécification concernant la permittivité relative et le facteur de dissipation décrit dans la CEI 60672-3, cet essai peut uniquement être effectué à la température ambiante. Pour ce qui concerne le coefficient de température de permittivité et la détermination de la variation moyenne de la permittivité sur une gamme de températures depuis la température ambiante, on recommande 100 °C.

15.2 Appareillage d'essai

On peut choisir tout appareillage adapté, conforme à la CEI 60250, pour effectuer les mesures électriques. Les éléments suivants sont également nécessaires:

a) une étuve pour le conditionnement des éprouvettes, capable de maintenir la température à 120 °C ± 5 °C;

b) un dessiccateur;

c) un micromètre conforme à l'ISO 3611.

15.3 Eprouvettes

La forme des éprouvettes et des électrodes utilisées doit être conforme à 4.1 de la CEI 60250. La forme préférentielle est un disque ayant un diamètre minimal de 60 mm et une épaisseur comprise entre 1,5 mm et 5,0 mm. Les éprouvettes doivent avoir une épaisseur uniforme à ±1 % près de la valeur moyenne, devant être déterminée à partir de mesures systématiques sur toute la surface des éprouvettes.

NOTE La CEI 60250 offre une certaine flexibilité quant aux dimensions des éprouvettes. L'épaisseur minimale est destinée à obtenir 1 % de précision dans les mesures. En augmentant l'épaisseur, on réduit la capacité et le résultat est moins précis, sauf si l'appareil de mesure est de bonne qualité et s'il est totalement blindé. Cette norme fournit également une certaine flexibilité en ce qui concerne la géométrie de l'électrode selon la méthode utilisée.

15.4 Méthode d'essai

Mesurer l'épaisseur des éprouvettes avec un micromètre ayant une précision de ±0,01 mm. Fixer les électrodes adaptées. On conditionne les éprouvettes par chauffage à 120 °C ± 5 °C pendant au moins 2 h et on les refroidit dans un dessiccateur.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

14.4 Test report

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

a) method of preparation of test pieces;

b) the immersion medium used, and its resistivity, in Ω·m;

c) the thickness of the each test piece, in mm;

d) the preset level of the withstand voltage, in kV, and whether by prior agreement between parties;

e) whether or not each test piece survived the specified voltage.

15 Relative permittivity, temperature coefficient of permittivity and dissipation factor

15.1 Test method

This test shall be performed according to the method described in IEC 60250. Where necessary, centimetre and millimetre wavelengths shall be used.

NOTE The temperature range for this test should be decided by agreement between parties. For the purpose of the specification for relative permittivity and dissipation factor described in IEC 60672-3, the test may be performed only at room temperature. For temperature coefficient of permittivity, determination of the average change in permittivity over the temperature range from room temperature to 100 °C is recommended.

15.2 Apparatus

Any suitable apparatus that conforms to IEC 60250 may be chosen for the electrical measurements. Also required are:

a) an oven for test piece conditioning, capable of maintaining 120 °C ± 5 °C;

b) a desiccator;

c) a micrometer in accordance with ISO 3611.

15.3 Test pieces

The form of the test pieces and electrodes used shall be in accordance with 4.1 of IEC 60250. The preferred form is a disc with a minimum diameter of 60 mm and thickness between 1,5 mm and 5,0 mm. The test pieces shall be of uniform thickness to within ±1 % of the mean value, which shall be determined from systematic measurements over the entire area of the test pieces.

NOTE IEC 60250 offers some flexibility for test piece dimensions. The minimum thickness is designed to achieve about 1 % accuracy of measurement; increasing the thickness reduces the capacitance and the result is less accurate unless the measuring instrument is of high quality and fully shielded. This standard also provides some flexibility in the electrode geometry depending on the method used.

15.4 Method of test

Measure the thickness of the test pieces with a micrometer to an accuracy of ±0,01 mm. Attach suitable electrodes. The test piece is conditioned by heating to 120 °C ± 5 °C for at least 2 h and then cooling in a desiccator.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Une fois prêtes pour l'essai, retirer les éprouvettes du dessiccateur et les placer immédiatement dans l'appareil d'essai qui est rempli d'air sec. Elever ou abaisser la température de la chambre d'essai à celle demandée pour l'essai, qui doit être choisie dans le tableau 1 de la CEI 60212 (voir annexe A). Après avoir réalisé l'équilibre en température des éprouvettes à la température d'essai demandée, avec une précision meilleure que ±1 °C, réaliser les mesures électriques conformément à la CEI 60250.

Les fréquences recommandées pour les essais sont les suivantes:

48 Hz à 62 Hz; 0,8 kHz à 2 kHz; 1 MHz.

NOTE 1 Pour l'essai, on peut utiliser des fréquences plus élevées sous réserve d'accord entre les parties.

On doit réaliser l'essai sur au moins trois éprouvettes.

NOTE 2 Si le coefficient de température de permittivité est petit, des techniques de mesure particulières peuvent être nécessaires, celles-ci doivent être soumises à des accords entre les parties.

Si l'on demande que la température dépende de la permittivité, tracer la courbe des valeurs correspondant à la permittivité en fonction de la température, et extrapoler les points correspondant aux valeurs par une droite. Si l'on demande un coefficient de température de permittivité, pour chaque paire de températures pour lesquelles il faut déterminer une valeur moyenne, tracer un segment vers la ligne coupant celle correspondant aux deux températures. Déterminer les valeurs de la permittivité en ces deux points. Calculer le coefficient de température selon la formule:

$$TK_{\varepsilon} = \frac{(\varepsilon_{T2} - \varepsilon_{T1})}{\varepsilon_{T1}\,(T2 - T1)} \qquad (17)$$

où

TK_{ε} est le coefficient moyen de température de permittivité sur la gamme des températures entre $T1$ et $T2$;

ε_{T1}, ε_{T2} est la permittivité à la température $T1$ et $T2$, respectivement;

$T1$, $T2$ sont les températures inférieure et supérieure de la gamme sur laquelle les mesures sont requises.

15.5 Rapport d'essai

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

a) la méthode de préparation des éprouvettes;

b) les dimensions des éprouvettes, en mm;

c) une brève description de la méthode d'essai et du matériel électrique utilisés pour faire les mesures;

d) la fréquence appliquée pendant l'essai, en Hz;

e) la permittivité et le facteur de dissipation pour chaque éprouvette et chaque température;

f) les valeurs moyennes et les écarts types de la permittivité et du facteur de dissipation pour chaque température;

g) si nécessaire, une courbe donnant la température en fonction de la permittivité de chaque éprouvette, ou les valeurs du coefficient de la température moyen de la permittivité obtenues à partir de la pente de la courbe relevée, en K^{-1}, déterminées entre les températures demandées.

NOTE Il peut exister des variations significatives du coefficient de température sur toute la gamme de températures d'essai.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

When ready for testing, remove the test piece from the desiccator and immediately place it in the test apparatus which is filled with dry air. Raise or lower the temperature of the test chamber to that required for the test, which shall be selected from table 1 of IEC 60212 (see annex A). After the temperature of the test piece has equilibrated to better than ±1 °C at the required test temperature, perform the electrical measurements in accordance with IEC 60250.

Recommended frequencies for testing are as follows:

48 Hz to 62 Hz; 0,8 kHz to 2 kHz; and 1 MHz.

NOTE 1 Higher test frequencies may be used subject to agreement between parties to the test.

The test shall be performed on at least three test pieces.

NOTE 2 In cases where the temperature coefficient of permittivity is small, special measurement techniques may be needed. In such a case, these shall be subject to agreement between parties.

If the temperature dependence of permittivity is required, plot the permittivity values against temperature and draw a smooth line through the data points. If a temperature coefficient of permittivity is required, for each pair of temperatures over which an average value is to be determined, draw a chord to the line intersecting the line at the two temperatures. Determine the values of permittivity at these points. Calculate the temperature coefficient as:

$$\mathrm{TK}_{\varepsilon} = \frac{(\varepsilon_{\mathrm{T2}} - \varepsilon_{\mathrm{T1}})}{\varepsilon_{\mathrm{T1}}\,(\mathrm{T2} - \mathrm{T1})} \qquad (17)$$

where

TK_{ε} is the mean temperature coefficient of permittivity over the temperature range $T1$ to $T2$;

ε_{T1}, ε_{T2} are the permittivities at temperature $T1$, $T2$, respectively;

$T1$, $T2$ are the lower and upper temperatures, respectively, of the range over which measurement is required.

15.5 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 method of preparation of the test pieces;

b) the dimensions of the test pieces, in mm;

c) a brief description of the test method and the electrical equipment employed for the measurement;

d) the frequency applied in the test, in Hz;

e) the permittivity and dissipation factor for each test piece at each test temperature;

f) the mean values and standard deviations of the permittivity and dissipation factor at each temperature;

g) if required, a plot of temperature dependence of permittivity of each test piece, or values of the mean temperature coefficient of permittivity, determined from the slope of the plot, in K^{-1}, determined between the required temperatures.

NOTE There may be significant variation of the temperature coefficient over the temperature range of the tests.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

16 Résistivité transversale

16.1 Méthode d'essai

Cet essai mesure la résistivité transversale des matériaux isolants sous une tension continue, 1 min après l'application de la tension d'essai.

NOTE Si l'on s'attend à des phénomènes secondaires, par exemple la polarisation, on peut faire cet essai en utilisant une tension alternative à la fréquence industrielle, après accord entre les parties. Les résultats de tels essais indiquent normalement des résistivités plutôt plus faibles que pour des essais en courant continu.

16.2 Appareillage d'essai

Cet essai doit être réalisé conformément à celui décrit dans la CEI 60345. Les éléments suivants sont également nécessaires:

a) une étuve pour le conditionnement des éprouvettes, capable de maintenir la température à 120 °C ± 5 °C;

b) un dessiccateur;

c) un micromètre conforme à l'ISO 3611.

16.3 Eprouvettes

La forme des éprouvettes et des électrodes utilisées doit être conforme à l'article 2 de la CEI 60345. La forme préférentielle est un disque ayant un diamètre de 60 mm et une épaisseur comprise entre 1,5 mm et 5,0 mm. Les éprouvettes doivent avoir une épaisseur uniforme à ±1 % de la valeur moyenne, qui doit être déterminée à partir de mesures systématiques sur toute la surface des éprouvettes.

NOTE La CEI 60345 offre une certaine flexibilité quant à la géométrie de l'éprouvette, avec une plus grande tolérance relativement à l'épaisseur (<5 % de l'épaisseur moyenne). Pour plus de facilité, dans la présente norme, la même éprouvette que celle utilisée pour les mesures de la permittivité (article 15) est adaptée aux mesures de résistivité.

Le système à trois électrodes doit être utilisé. L'électrode intérieure gardée doit avoir un diamètre d'au moins 10 fois l'épaisseur moyenne des éprouvettes. L'électrode de garde extérieure gardée doit avoir une largeur au moins égale à l'épaisseur de l'éprouvette, et l'intervalle entre la garde et l'électrode gardée doit être d'au moins 1 mm. L'électrode non gardée doit avoir le même diamètre que le diamètre extérieur de l'électrode de garde.

16.4 Méthode d'essai

Appliquer les électrodes conformément à l'article 4 de la CEI 60345. Conditionner les éprouvettes pendant au moins 2 h, à la température de 120 °C ± 5 °C, et les refroidir dans un dessiccateur. Les introduire tour à tour dans le matériel d'essai et les porter à la température demandée.

Appliquer une tension de 100 V ou 500 V, conformément à la méthode décrite dans la CEI 60093. Après 1 min, noter la tension et l'intensité du courant.

NOTE Plusieurs tensions d'essai peuvent être utilisées selon les accords entre parties prenantes.

Augmenter la température comme cela est demandé et répéter l'essai. Après avoir effectué les mesures à la température maximale requise, refroidir l'éprouvette et la remesurer à la température ambiante pour identifier toute variation, ceci constituant le résultat des mesures conformément à l'article 6 de la CEI 60345.

L'essai doit être réalisé sur au moins deux éprouvettes.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

16 Volume resistivity

16.1 Test method

This test measures the volume resistivity of insulating materials under d.c. conditions, 1 min after application of the test voltage.

NOTE If secondary phenomena are expected, for example polarization, the test may be made using a.c. voltage at power frequency by agreement between parties. The results of such tests normally show rather lower resistivity than the d.c. test.

16.2 Apparatus

This test shall be performed in accordance with IEC 60345. The following are also required:

a) an oven for conditioning test pieces and capable of maintaining 120 °C ± 5 °C;

b) a desiccator;

c) micrometer in accordance with ISO 3611.

16.3 Test pieces

The form of the test pieces and electrodes used shall be in accordance with clause 2 of IEC 60345. The preferred form is a disc with a minimum diameter of 60 mm and thickness between 1,5 mm and 5,0 mm. The test pieces shall be of uniform thickness to ±1 % of the mean value, which shall be determined from systematic measurements over the entire area of the test pieces.

NOTE IEC 60345 offers some flexibility on test piece geometry, with greater tolerance on thickness (<5 % of the mean thickness). For convenience, in the present standard, the same test piece as employed for permittivity measurement (clause 15) is suitable for resistivity measurement.

The three-electrode system shall be used. The inner, guarded electrode shall have a diameter at least 10 times the mean thickness of the test piece. The outer, guard electrode shall have a width at least the thickness of the test piece, and the gap between the guard and the guarded electrode shall be a minimum of 1 mm. The unguarded electrode shall have the same diameter as the outer diameter of the guard electrode.

16.4 Test method

Apply the electrodes according to clause 4 of IEC 60345. Condition the test pieces for at least 2 h at 120 °C ± 5 °C and cool in a desiccator. Insert each in turn into the test equipment and bring to the required test temperature.

Apply a voltage of 100 V or 500 V in accordance with the method described in IEC 60093. After 1 min, record the voltage and the current flowing.

NOTE Other test voltages may be used by agreement between parties.

Increase the temperature as required, and repeat the test. After measurement at the maximum required temperature, cool the test piece and remeasure it at room temperature to identify any changes as a result of the measurements in accordance with clause 6 of IEC 60345.

The test shall be performed on at least two test pieces.

--`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

16.5 Détermination de $T_{\rho 1}$ et de $T_{\rho 0,01}$

Si nécessaire, on doit utiliser une méthode manuelle de correspondance à une courbe pour estimer la température approximative à laquelle la résistivité mesurée chute à 1 MΩ·m ($T_{\rho 1}$) ou à 0,01 MΩ·m ($T_{\rho 0,01}$). Pour ce faire, la gamme des températures d'essai doit avoir été considérée comme suffisante pour que la valeur la plus basse de la résistivité soit inférieure à la valeur appropriée correspondant à ces valeurs.

Créer une courbe de mesures avec en ordonnée $\log_{10}$ (résistivité, Ω·m) et la température en °C en abscisse. Tracer une courbe lissée représentant ces points marqués. Lire sur la courbe les températures $T_{\rho 1}$ et $T_{\rho 0,01}$ correspondant respectivement aux résistivités de 1 MΩ·m et de 0,01 MΩ·m.

16.6 Rapport d'essai

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

a) une brève description de l'appareil d'essai utilisé;

b) le niveau de tension utilisé pour l'essai, en V, et s'il s'agit de tension alternative ou continue;

c) les valeurs de la résistivité, en Ω·m, pour chaque température, en °C, et pour chaque éprouvette pendant le chauffage uniquement;

d) si nécessaire, la température approximative, en °C, pour laquelle la résistivité descend à 1 MΩ·m (désignée par le symbole $T_{\rho 1}$) ou à 0,01 MΩ·m (désignée par le symbole $T_{\rho 0,01}$).

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

16.5 Determination of $T\rho_1$ and $T\rho_{0,01}$

If required, a manual curve-fitting method shall be used to estimate the approximate temperature at which the measured resistivity falls to 1 MΩ·m ($T_{\rho 1}$) or 0,01 MΩ·m ($T_{\rho 0,01}$). To do this, the test temperature range shall have been sufficient for the lowest resistivity value to be less than the appropriate one of these values.

Create a plot of the measurements with $\log_{10}$ (resistivity, Ω·m) as the ordinate and temperature in °C as the abscissa. Draw a smooth curve through the plotted points. Read from the curve the temperatures $T_{\rho 1}$ and $T_{\rho 0,01}$ corresponding respectively with resistivities of 1 MΩ·m and 0,01 MΩ·m.

16.6 Test report

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

a) a brief description of the apparatus used;

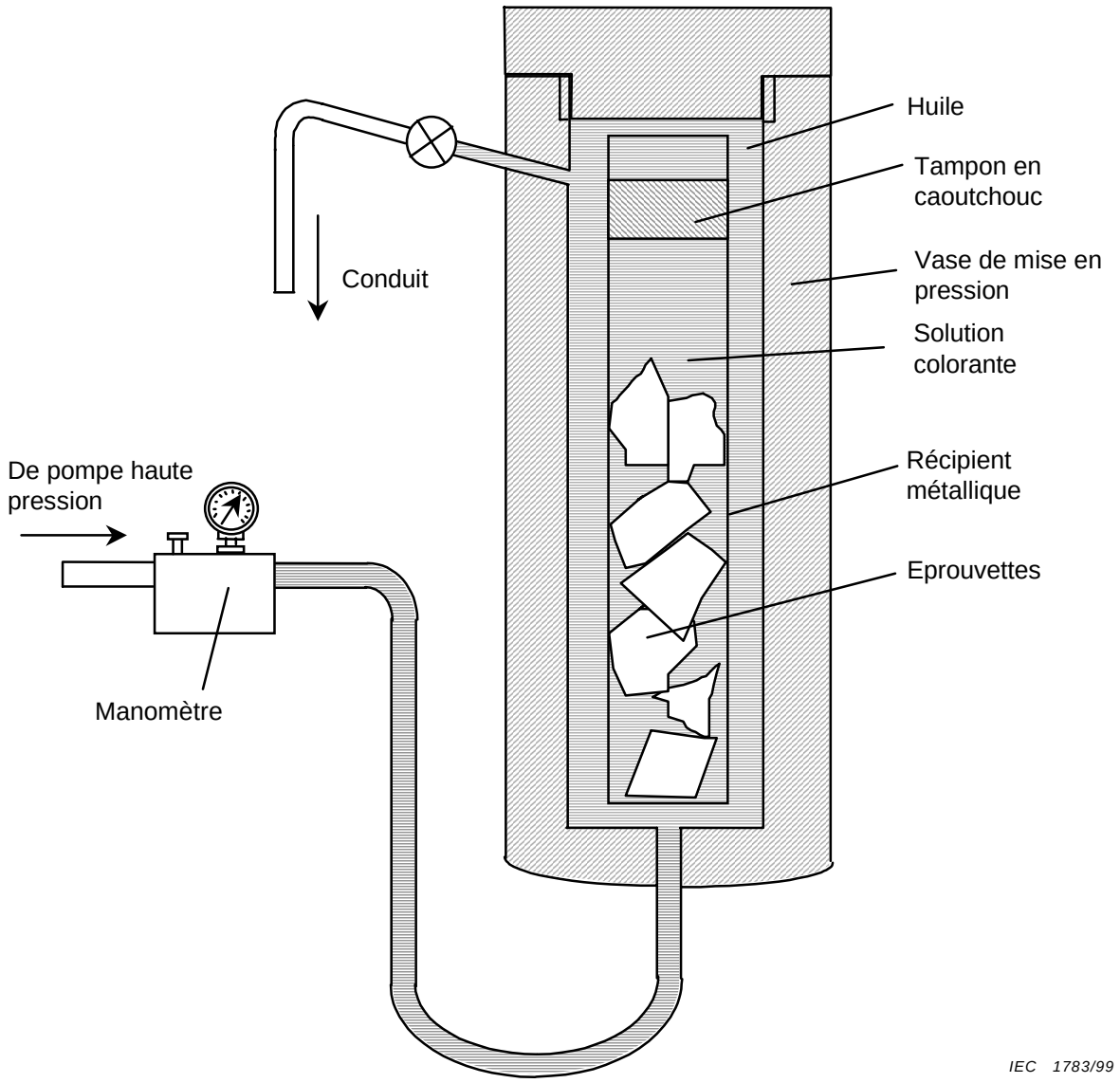
b) voltage level used for the test, in V, and whether a.c. or d.c.;

c) resistivity values, in Ω·m, at each temperature, in °C, for each test piece during heating only;

d) if required, the approximate temperature, in °C, at which the resistivity falls to 1 MΩ·m (designated by the symbol $T_{\rho 1}$) or 0,01 MΩ·m (designated by the symbol $T_{\rho 0,01}$).

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

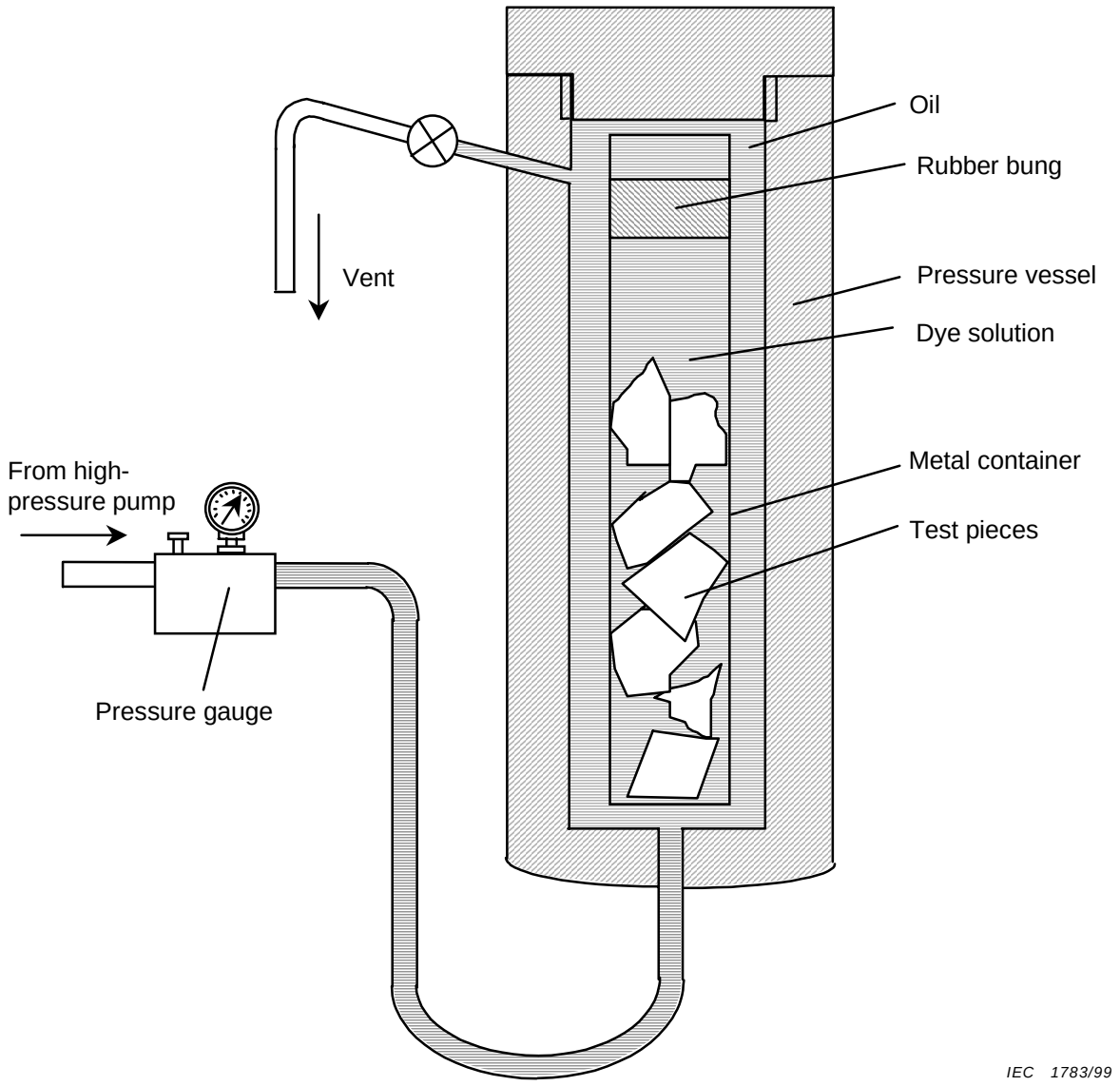
Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale



NOTE De manière facultative, les éprouvettes peuvent être directement pressurisées par une solution colorante contenue dans le vase de mise en pression.

Figure 1 – Appareillage pour appliquer la haute pression à une solution colorante contenue dans un récipient métallique

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale



NOTE Optionally, the test pieces may be pressurized directly by dye solution contained in the pressure vessel.

Figure 1 – Apparatus for applying high pressure to dye solution contained in a metal container

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

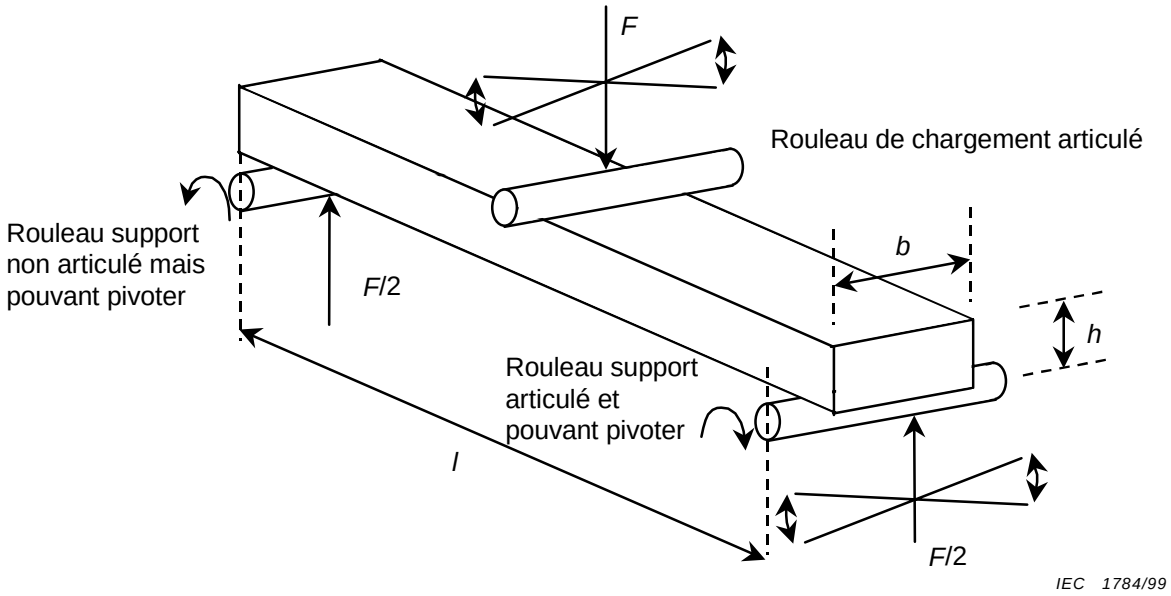


Figure 2a – Méthode A – Flexion en trois points

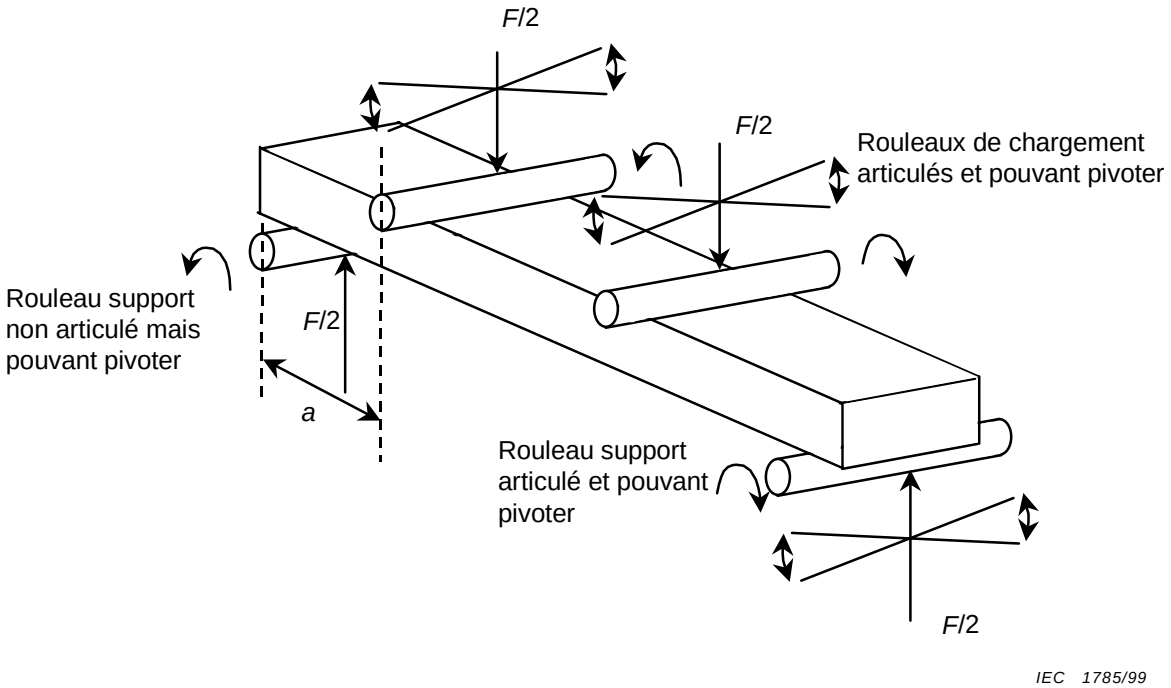


Figure 2b – Méthode A – Flexion en quatre points

Figure 2 – Fonctionnement des dispositifs d'essai mécaniques pour les essais de résistance
(voir également la note en 6.2)

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

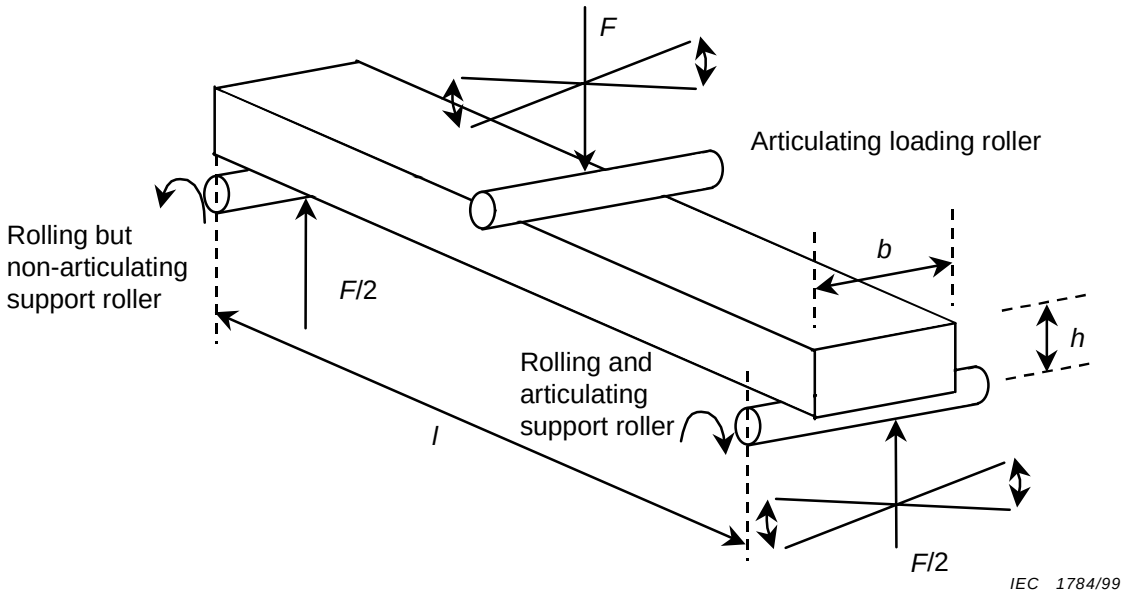


Figure 2a – Method A – Three-point bend

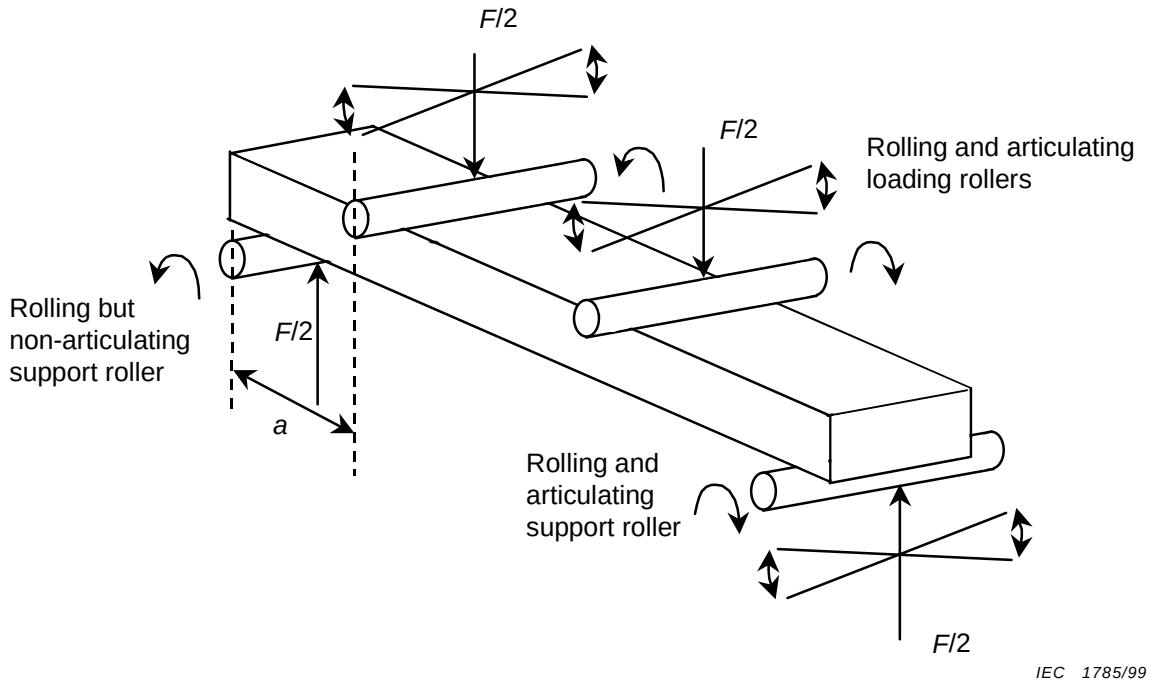
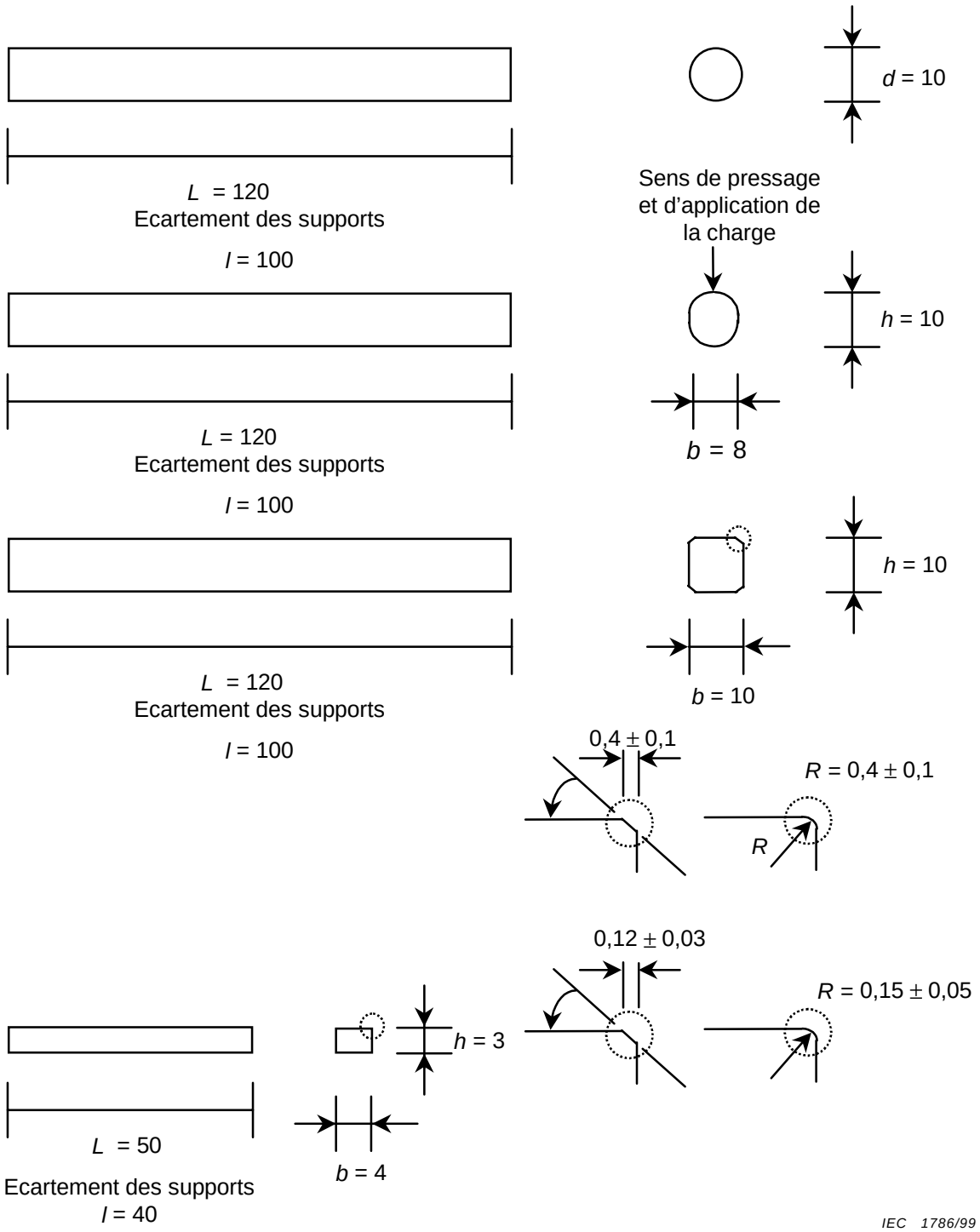


Figure 2b – Method B – Four-point bend

Figure 2 – Function of mechanical testing jigs and symbols for strength tests
(see also note to 6.2)

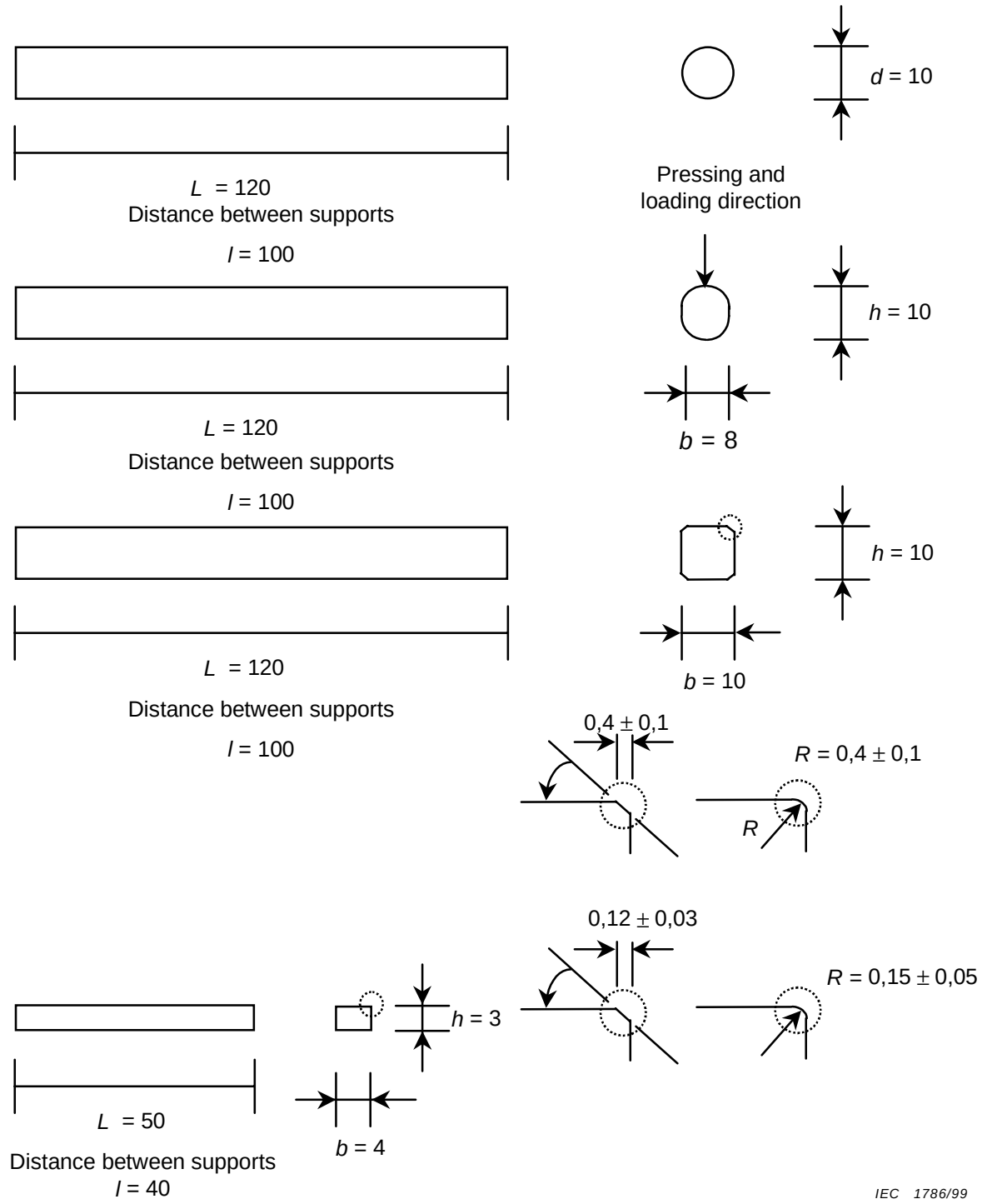
Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale



Dimensions en millimètres

Figure 3 – Forme, symboles et dimensions des éprouvettes d'essai de résistance en flexion

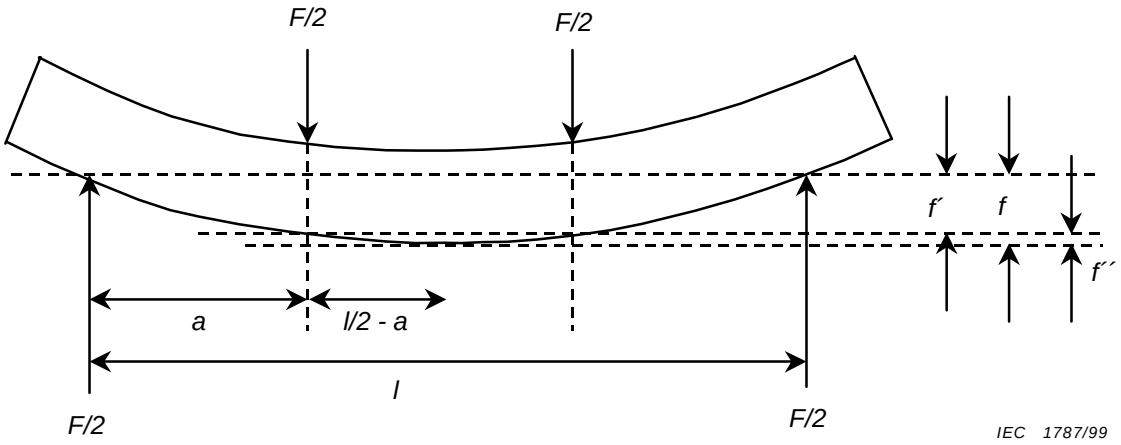
Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale



Dimensions in millimetres

Figure 3 – Shape, symbols and dimensions of flexural strength test pieces

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale



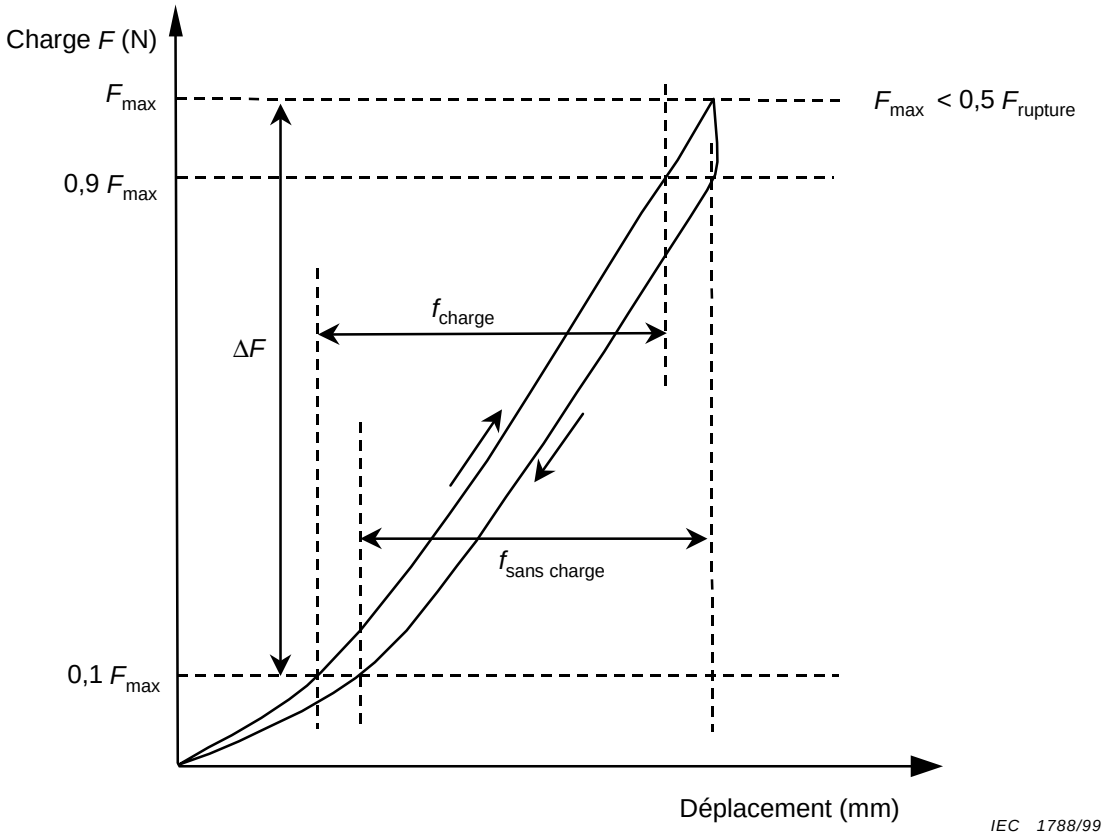
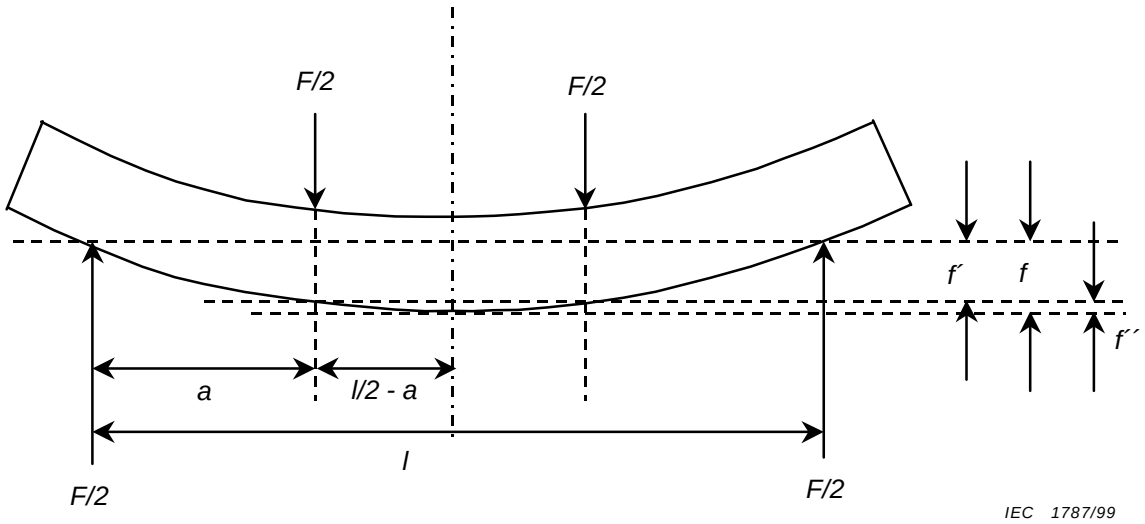


Figure 4 – Paramètres de déflexion et méthode de détermination des flèches pour déterminer le module de Young

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale



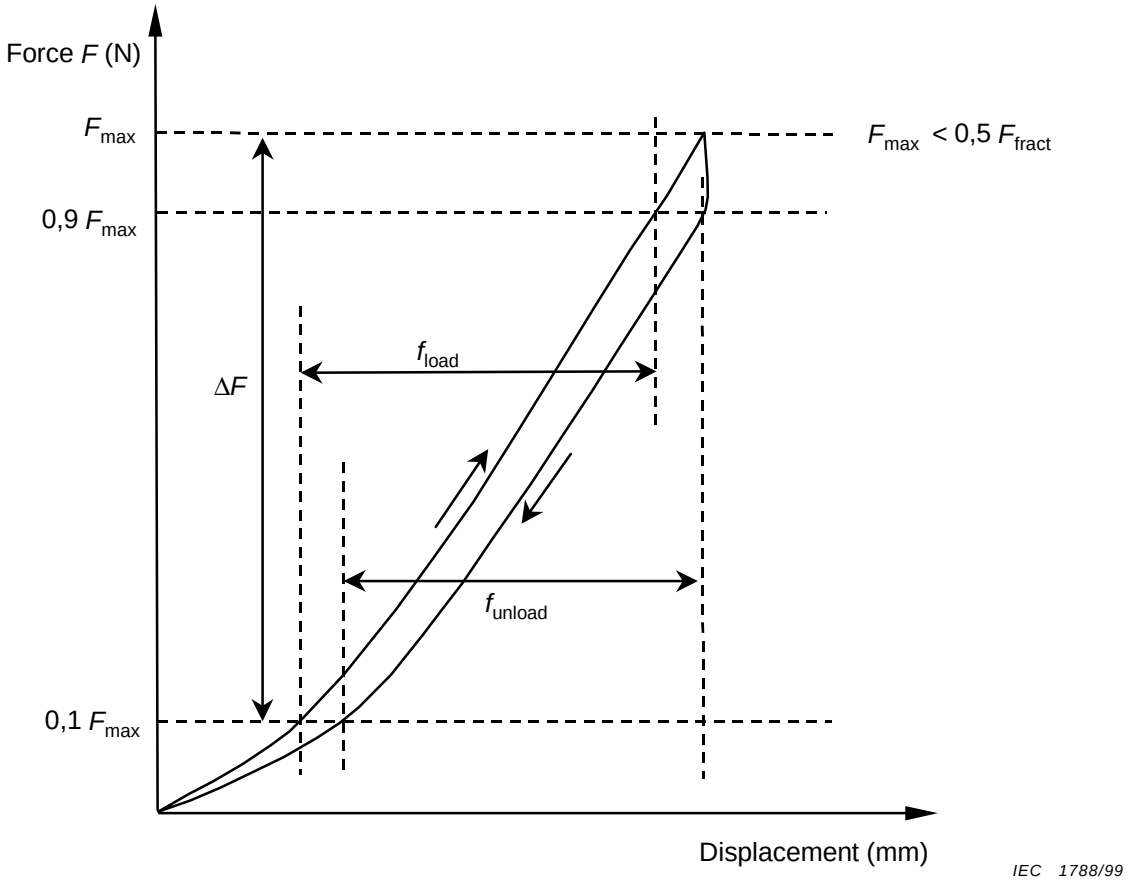


Figure 4 – Deflection parameters and method of determination of deflections for Young's modulus determination

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

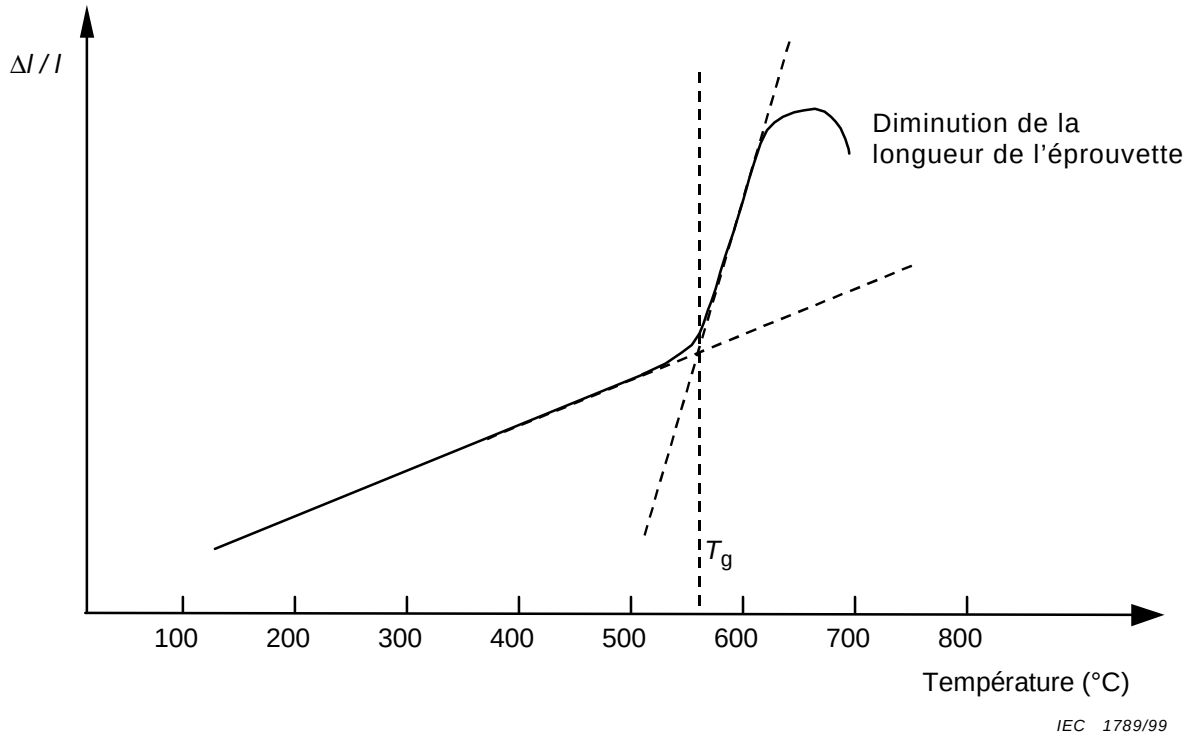


Figure 5 – Construction graphique pour déterminer la température de transition vitreuse T_g pour les verres

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

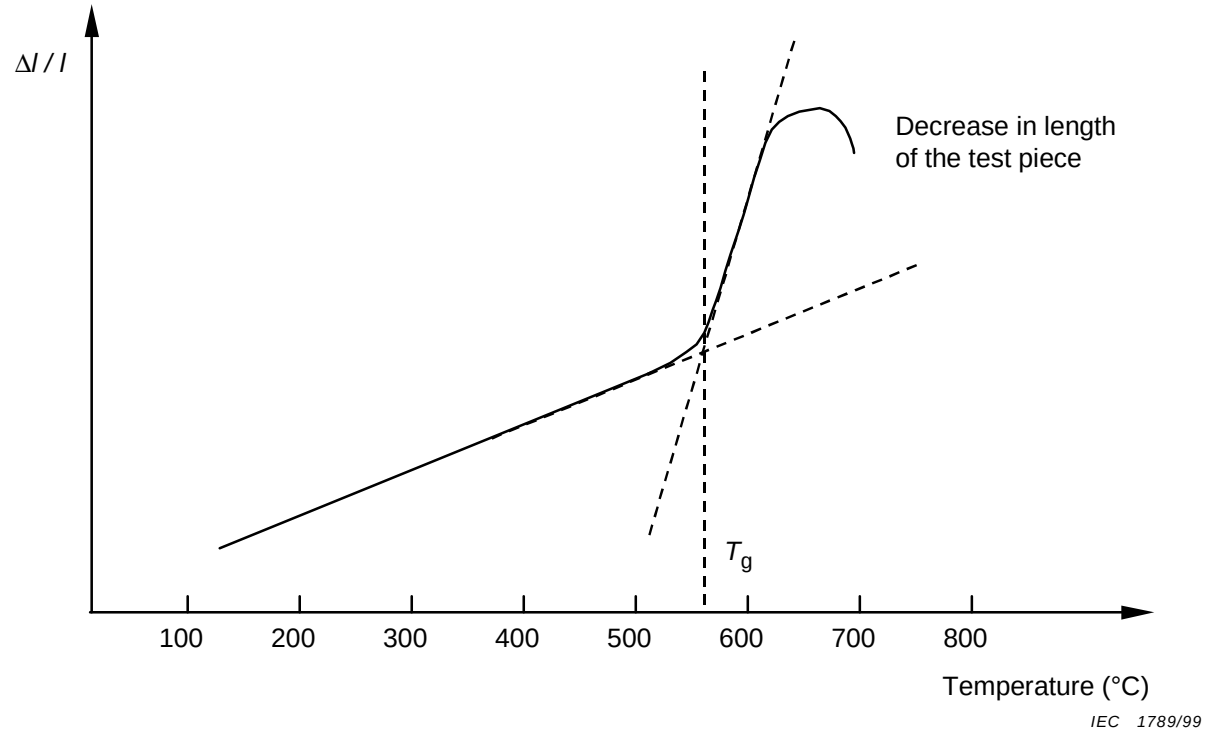
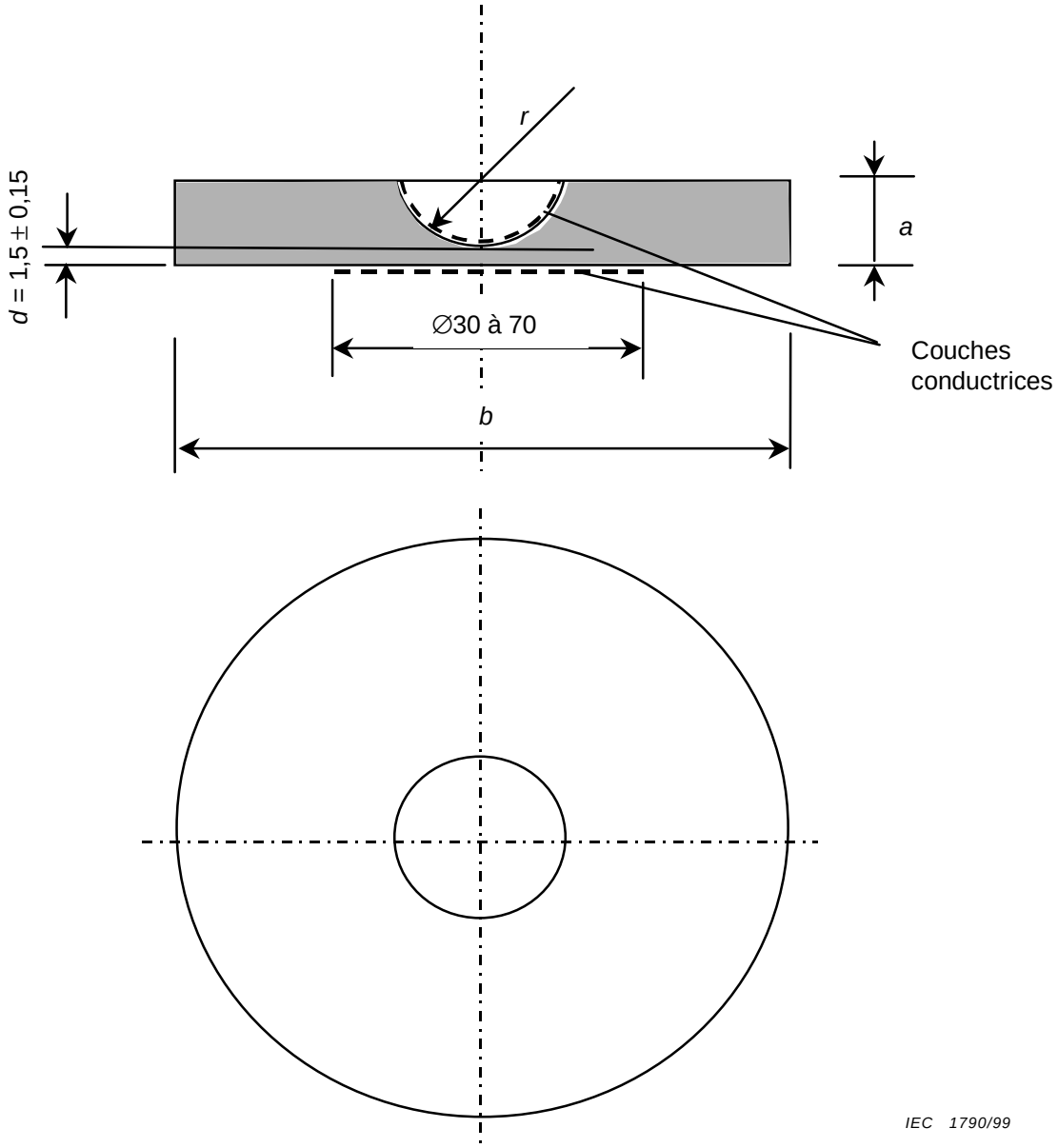


Figure 5 – Graphical construction for determination of transition temperature T_g of glasses

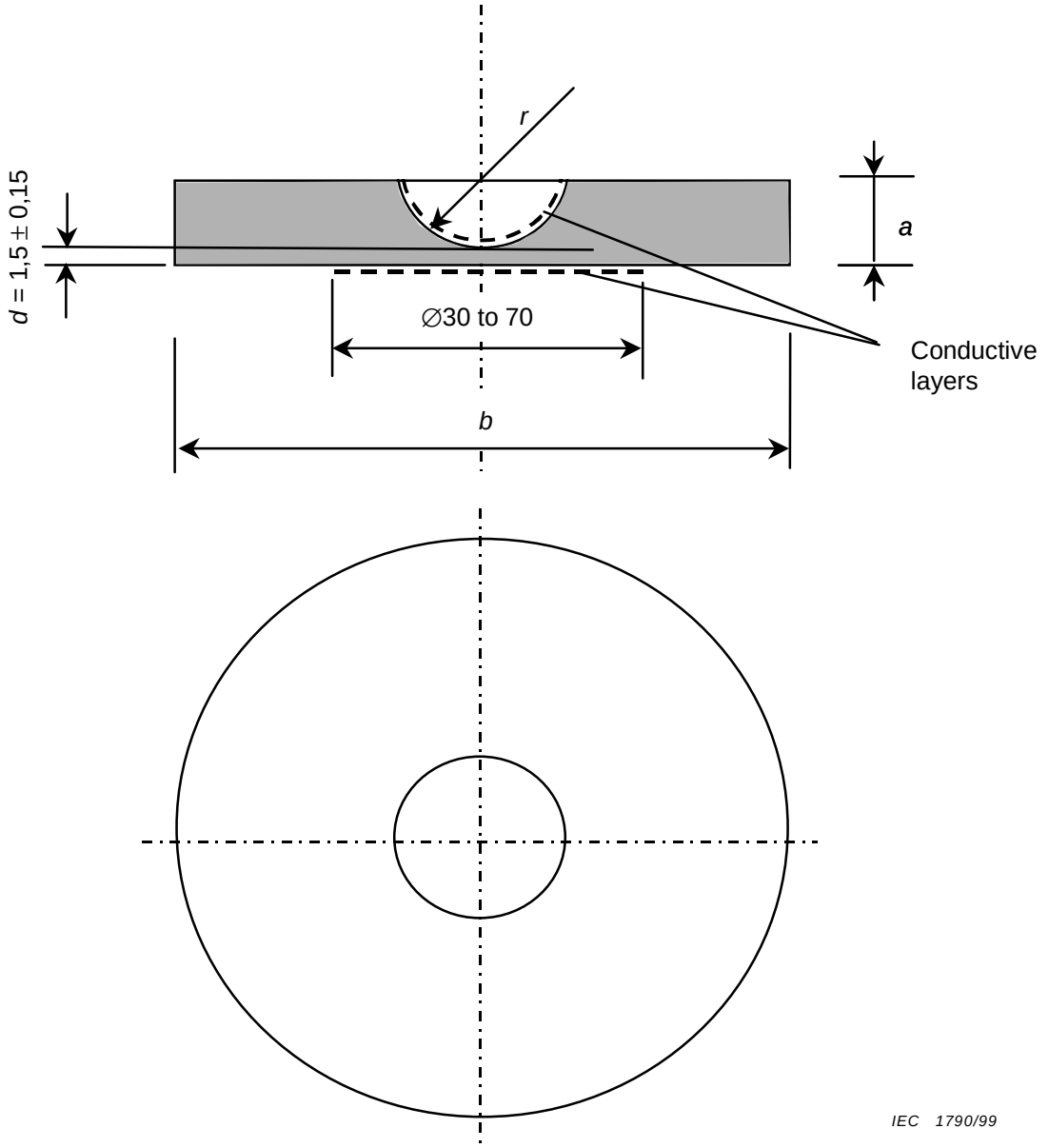
Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale



Dimensions en millimètres

Figure 6 – Eprouvette pour les essais de rigidité diélectrique et de tension de tenue, méthode B
(voir article 13)

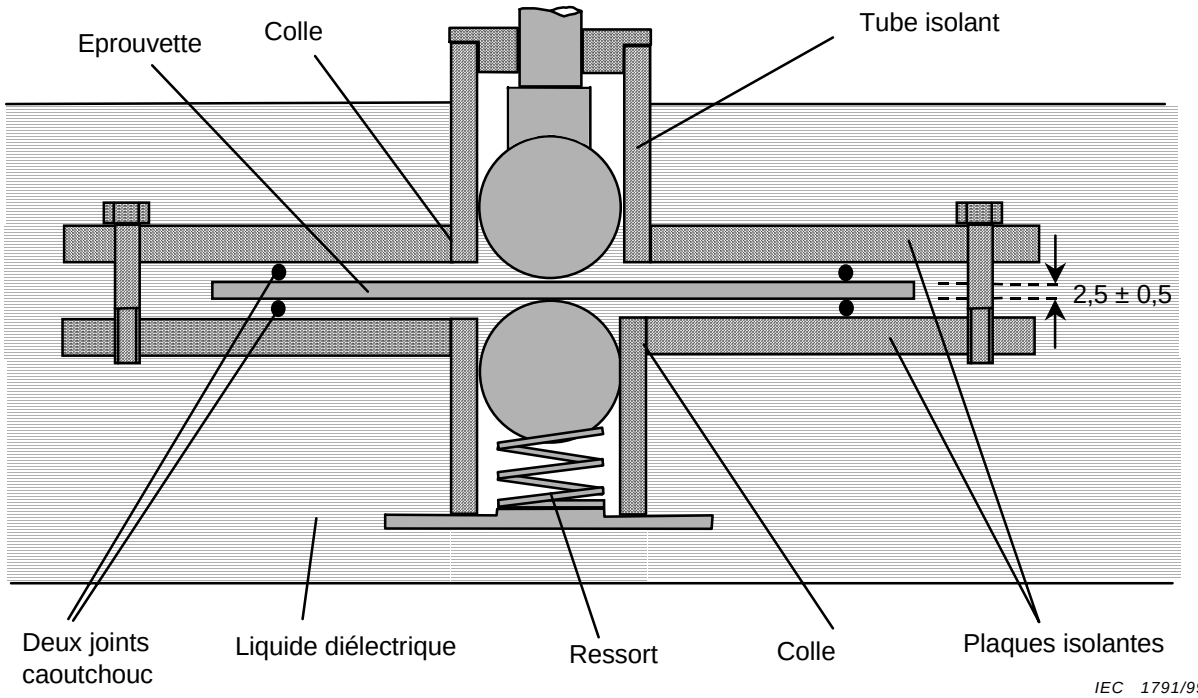
Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale



Dimensions in millimetres

Figure 6 – Test piece for electrical strength and withstand voltage tests, method B
(see clause 13)

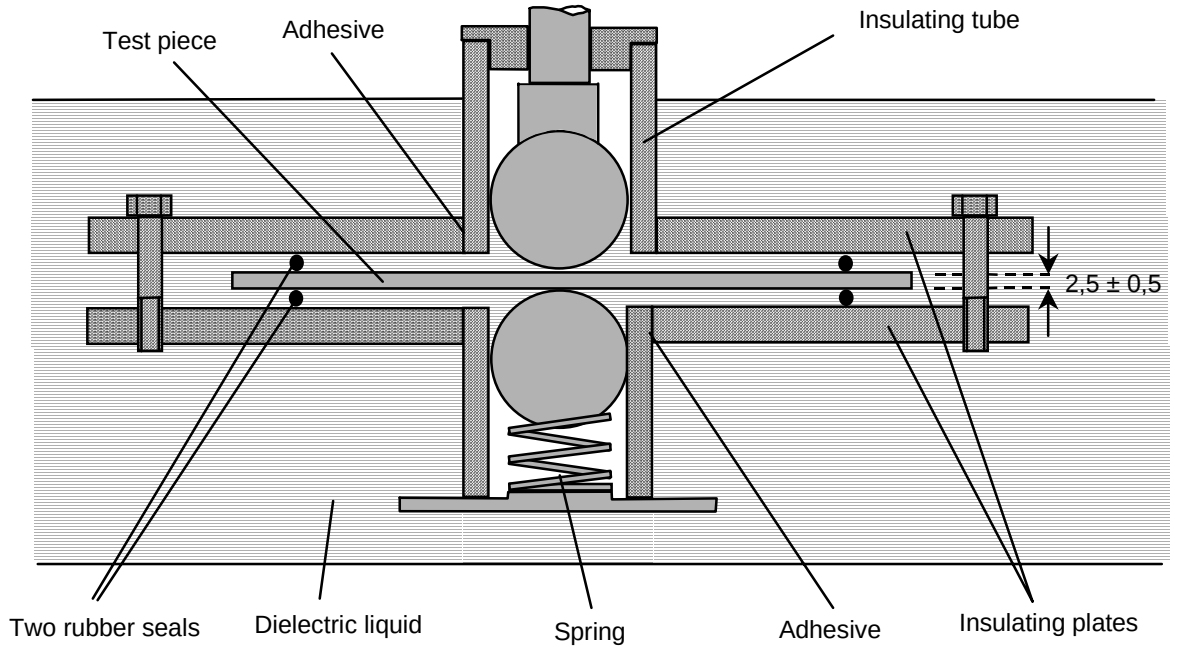
Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale



Dimensions en millimètres

Figure 7 – Disposition des électrodes pour la mesure de la rigidité diélectrique, méthode A

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale



Dimensions in millimetres

Figure 7 – Electrode arrangement for electric strength measurement, method A

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Annexe A
(normative)

Conditions standard de température pour les essais

Afin d'aider l'utilisateur de cette norme à fixer les conditions à prendre en compte pour les mesures de la permittivité, et à déterminer le coefficient de température de permittivité, le tableau A.1 suivant a été tiré du tableau 1 de la CEI 60212.

Tableau A.1 – Conditions standard de température pour les essais

Température d'essai désignation °C	**Tolérance** °C
(voir note 1)	**(voir note 2)**
– 65	±3
– 55	"
– 40	"
– 25	"
– 10	"
20	±2
23	"
27	"
40	"
55	"
70	"
90	"
105	"
120	"
130	"
155	"
180	"
200	±3
220	"
250	"
275	±5
320	"
400	"
500	±10
630	"
800	±20
1 000	"
NOTE 1 Ces températures sont des recommandations de la CEI 60212, mais pour cet essai, il est possible de choisir d'autres températures conformément aux accords passés entre les parties pour les essais existant dans cette norme. NOTE 2 Dans des cas particuliers, il est possible d'utiliser des tolérances plus étroites, par exemple ±1 °C.	

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Annex A
(normative)

Standard temperature conditions for testing

In order to assist the user of this standard in fixing conditions for undertaking measurements of permittivity and the determination of the temperature coefficient of permittivity, the following table A.1 has been extracted from table 1 in IEC 60212.

Table A.1 – Standard temperature conditions for testing

Test temperature designation °C	**Tolerance** °C
(see note 1)	**(see note 2)**
– 65	±3
– 55	"
– 40	"
– 25	"
– 10	"
20	±2
23	"
27	"
40	"
55	"
70	"
90	"
105	"
120	"
130	"
155	"
180	"
200	±3
220	"
250	"
275	±5
320	"
400	"
500	±10
630	"
800	±20
1 000	"

NOTE 1 These temperatures are recommendations in IEC 60212, but other temperatures may be selected in accordance with agreements between parties to the tests within this standard.

NOTE 2 In special cases, closer tolerances may be used, for example ±1 °C.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Bibliographie

[1] CEI 60247:1978, *Mesure de la permittivité relative, du facteur de dissipation diélectrique et de la résistivité (en courant continu) des liquides isolants*

[2] ISO 7500-1:1986, *Matériaux métalliques – Vérification des machines pour essais statiques uniaxiaux – Partie 1: Machine d'essai de traction*

NOTE La présente norme est à ce jour en révision pour élargir son domaine d'application afin d'inclure les essais en mode de compression.

———————

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Bibliography

[1] IEC 60247:1978, *Measurement of relative permittivity, dielectric dissipation factor and d.c. resistivity of insulating liquids*

[2] ISO 7500-1:1986, *Metallic materials – Verification of static uniaxial testing machines – Part 1: Tensile testing machines*

NOTE This standard is currently under revision to broaden its scope to include compression mode testing.

———————————

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Standards Survey

The IEC would like to offer you the best quality standards possible. To make sure that we continue to meet your needs, your feedback is essential. Would you please take a minute to answer the questions overleaf and fax them to us at +41 22 919 03 00 or mail them to the address below. Thank you!

Customer Service Centre (CSC)

International Electrotechnical Commission
3, rue de Varembé
1211 Genève 20
Switzerland

or

Fax to: **IEC**/CSC at +41 22 919 03 00

Thank you for your contribution to the standards-making process.

Nicht frankieren
Ne pas affranchir

Non affrancare
No stamp required

A Prioritaire

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Customer Service Centre (CSC)
International Electrotechnical Commission
3, rue de Varembé
1211 GENEVA 20
Switzerland

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS

Not for Resale

Q1 Please report on **ONE STANDARD** and **ONE STANDARD ONLY**. Enter the exact number of the standard: *(e.g. 60601-1-1)*

.....

Q2 Please tell us in what capacity(ies) you bought the standard *(tick all that apply).* I am the/a:

purchasing agent ❑
librarian ❑
researcher ❑
design engineer ❑
safety engineer ❑
testing engineer ❑
marketing specialist ❑
other.....

Q3 I work for/in/as a: *(tick all that apply)*

manufacturing ❑
consultant ❑
government ❑
test/certification facility ❑
public utility ❑
education ❑
military ❑
other.....

Q4 This standard will be used for: *(tick all that apply)*

general reference ❑
product research ❑
product design/development ❑
specifications ❑
tenders ❑
quality assessment ❑
certification ❑
technical documentation ❑
thesis ❑
manufacturing ❑
other.....

Q5 This standard meets my needs: *(tick one)*

not at all ❑
nearly ❑
fairly well ❑
exactly ❑

Q6 If you ticked NOT AT ALL in Question 5 the reason is: *(tick all that apply)*

standard is out of date ❑
standard is incomplete ❑
standard is too academic ❑
standard is too superficial ❑
title is misleading ❑
I made the wrong choice ❑
other .....

Q7 Please assess the standard in the following categories, using the numbers:
(1) unacceptable,
(2) below average,
(3) average,
(4) above average,
(5) exceptional,
(6) not applicable

timeliness.....
quality of writing.....
technical contents.....
logic of arrangement of contents .....
tables, charts, graphs, figures.....
other .....

Q8 I read/use the: *(tick one)*

French text only ❑
English text only ❑
both English and French texts ❑

Q9 Please share any comment on any aspect of the IEC that you would like us to know:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

Enquête sur les normes

La CEI ambitionne de vous offrir les meilleures normes possibles. Pour nous assurer que nous continuons à répondre à votre attente, nous avons besoin de quelques renseignements de votre part. Nous vous demandons simplement de consacrer un instant pour répondre au questionnaire ci-après et de nous le retourner par fax au +41 22 919 03 00 ou par courrier à l'adresse ci-dessous. Merci !

Centre du Service Clientèle (CSC)

Commission Electrotechnique Internationale
3, rue de Varembé
1211 Genève 20
Suisse

ou

Télécopie: **CEI**/CSC +41 22 919 03 00

Nous vous remercions de la contribution que vous voudrez bien apporter ainsi à la Normalisation Internationale.

Nicht frankieren
Ne pas affranchir

Non affrancare
No stamp required

A Prioritaire

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Centre du Service Clientèle (CSC)
Commission Electrotechnique Internationale
3, rue de Varembé
1211 GENÈVE 20
Suisse

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS

Not for Resale

Q1 Veuillez ne mentionner qu'**UNE SEULE NORME** et indiquer son numéro exact: (*ex. 60601-1-1)*

.....

Q2 En tant qu'acheteur de cette norme, quelle est votre fonction?
(cochez tout ce qui convient)
Je suis le/un:

agent d'un service d'achat ❑
bibliothécaire ❑
chercheur ❑
ingénieur concepteur ❑
ingénieur sécurité ❑
ingénieur d'essais ❑
spécialiste en marketing ❑
autre(s).....

Q3 Je travaille:
(cochez tout ce qui convient)

dans l'industrie ❑
comme consultant ❑
pour un gouvernement ❑
pour un organisme d'essais/ certification ❑
dans un service public ❑
dans l'enseignement ❑
comme militaire ❑
autre(s).....

Q4 Cette norme sera utilisée pour/comme
(cochez tout ce qui convient)

ouvrage de référence ❑
une recherche de produit ❑
une étude/développement de produit ❑
des spécifications ❑
des soumissions ❑
une évaluation de la qualité ❑
une certification ❑
une documentation technique ❑
une thèse ❑
la fabrication ❑
autre(s).....

Q5 Cette norme répond-elle à vos besoins:
(une seule réponse)

pas du tout ❑
à peu près ❑
assez bien ❑
parfaitement ❑

Q6 Si vous avez répondu PAS DU TOUT à Q5, c'est pour la/les raison(s) suivantes:
(cochez tout ce qui convient)

la norme a besoin d'être révisée ❑
la norme est incomplète ❑
la norme est trop théorique ❑
la norme est trop superficielle ❑
le titre est équivoque ❑
je n'ai pas fait le bon choix ❑
autre(s) .....

Q7 Veuillez évaluer chacun des critères ci-dessous en utilisant les chiffres
(1) inacceptable,
(2) au-dessous de la moyenne,
(3) moyen,
(4) au-dessus de la moyenne,
(5) exceptionnel,
(6) sans objet

publication en temps opportun .....
qualité de la rédaction.....
contenu technique .....
disposition logique du contenu .....
tableaux, diagrammes, graphiques, figures.....
autre(s) .....

Q8 Je lis/utilise: *(une seule réponse)*

uniquement le texte français ❑
uniquement le texte anglais ❑
les textes anglais et français ❑

Q9 Veuillez nous faire part de vos observations éventuelles sur la CEI:

.....
.....
.....
.....
.....
.....

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS

Not for Resale

ISBN 2-8318-5046-0



ICS 17.220.99; 29.035.30

Typeset and printed by the IEC Central Office
GENEVA, SWITZERLAND

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS

Not for Resale