

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Specification for laminated pressboard –
Part 2: Methods of test**

**Spécification pour cartons comprimés et contrecollés –
Partie 2: Méthodes d'essai**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2007 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

The IEC on-line Catalogue enables you to search by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details twice a month all new publications released. Available on-line and also by email.

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00



IEC 60763-2

Edition 2.0 2007-02

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Specification for laminated pressboard –
Part 2: Methods of test**

**Spécification pour cartons comprimés et contrecollés –
Partie 2: Méthodes d'essai**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

R

ICS 17.220.99; 29.035.10

ISBN 2-8318-1045-6

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Conditioning of test specimens	8
4 Drying of test specimens	8
4.1 Method A (preferable)	8
4.2 Method B.....	8
5 Dimensions	8
5.1 Thickness.....	8
6 Mechanical tests.....	9
6.1 Flexural strength and load to produce a standard deflection	9
6.2 Apparent modulus of elasticity in flexure	10
7 Compressibility.....	10
7.1 Principle.....	10
7.2 Test apparatus	11
7.3 Test pieces.....	11
7.4 Procedure	11
7.5 Results.....	11
8 Electric strength in oil	12
8.1 General and conditioning.....	12
8.2 Electric strength along laminate (edgewise electric strength).....	12
9 Internal ply strength, thermal resistance and oil compatibility	12
9.1 Principle.....	12
9.2 Test specimens	12
9.3 Test apparatus	13
9.4 Procedure	13
9.5 Determination of the flexural strength.....	13
9.6 Results.....	13
10 Apparent density	14
10.1 Test specimens	14
10.2 Procedure	14
10.3 Results.....	14
11 Moisture content.....	15
12 Shrinkage in air after drying.....	15
12.1 Test specimens	15
12.2 Procedure	15
12.3 Results.....	15
13 Oil absorption.....	15
13.1 Test specimens	15
13.2 Procedure	15
13.3 Results.....	16
14 Ash content	16
14.1 Procedure	16
14.2 Results.....	16

15	Contamination of liquid dielectrics	16
15.1	Apparatus.....	16
15.2	Test specimens	16
15.3	Procedure	17
15.4	Results.....	17
16	Conductivity of aqueous extract.....	17
16.1	Procedure	17
16.2	Results.....	17
17	pH of aqueous extract	17
Figure 1 – Position of test specimen in relation to length, width and thickness of sheet		17
Figure 2 – Size of the test specimens and arrangement of the electrodes for testing the electric strength along laminae (edgewise electric strength).....		18
Figures 3 and 4 – Alternative forms of vented electrodes		19
Table 1 – Number of test specimens		13

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SPECIFICATION FOR LAMINATED PRESSBOARD –

Part 2: Methods of test

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of 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, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). 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. 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 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 IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60763-2 has been prepared by IEC technical committee 15: Solid electrical insulating materials.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1991 and constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition.

- a) The standard has generally been revised editorially and brought into line with IEC 60641-2.
- b) The test method for the determination of the internal ply strength has been replaced with an alternative method.
- c) The test method for the determination of the thermal resistance has been enlarged in its scope.

This bilingual version, published in 2009-06, corresponds to the English version.

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

FDIS	Report on voting
15/360/FDIS	15/373/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.

The French version of this standard has not been voted upon.

The list of all parts of the IEC 60763 series, under the general title *Specification for laminated pressboard*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

INTRODUCTION

This International Standard deals with laminated pressboard as defined in Clause 2 of IEC 60763-1.

IEC 60641 applies to pressboard which is not laminated, and the material covered by this International Standard is made from sheets conforming to the requirements of that publication.

SPECIFICATION FOR LAMINATED PRESSBOARD –

Part 2: Methods of test

1 Scope

This part of IEC 60763 gives methods of test applicable for the material classified in IEC 60763-1.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

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

IEC 60247:2004, *Insulating liquids – Measurement of relative permittivity, dielectric dissipation factor ($\tan \delta$) and d.c. resistivity*

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 60296:2003, *Fluids for electrotechnical applications – Unused mineral insulating oils for transformers and switchgear*

IEC 60641-2:2004, *Pressboard and presspaper for electrical purposes – Part 2: Methods of tests*

IEC 60763-1:1983, *Specification for laminated pressboard – Part 1: Definitions, classification and general requirements*

IEC 61125:1992, *Unused hydrocarbon-based insulating liquids – Test methods for evaluating the oxidation stability*

IEC 62021-1:2003, *Insulating liquids – Determination of acidity – Part 1: Automatic potentiometric titration*

ISO 287:1985, *Paper and board – Determination of moisture content – Oven-drying method*

ISO 2144:1997, *Paper, board and pulps – Determination of residue (ash) on ignition at 900 degrees C*

3 Conditioning of test specimens

Since the conditioning of laminated pressboard is very time-consuming, the material is tested either as received or dried. Only in case of dispute shall the material be conditioned according to the following procedure.

The conditioning shall be made at $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ K}$ and $(50 \pm 5)\%$ relative humidity until the moisture content of the specimen reaches 5,5 % to 8 %. The conditioning shall be approached from the dry side after drying at $70\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ K}$ for a period sufficient to ensure that the conditioning atmosphere produces a mass increase in the specimen.

4 Drying of test specimens

4.1 Method A (preferable)

The test specimens shall be dried at $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ K}$ for $(24 \pm 1)\text{ h}$ in an oven with forced air circulation and subsequently at $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ K}$ for $(48 \pm 2)\text{ h}$ in a vacuum chamber at a residual pressure of not more than 1 kPa. The specimens shall then be removed and allowed to cool in a desiccator before the test.

4.2 Method B

Test specimens shall be dried in a ventilated oven at $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ K}$ for $(168 \pm 8)\text{ h}$ at atmospheric pressure. When test pieces of the specified size are dried according to method B, test results similar to the test results obtained after drying according to method A may be expected.

5 Dimensions

5.1 Thickness

5.1.1 Test apparatus

An external screw-type micrometer having measuring faces of 6 mm to 8 mm diameter shall be used for testing. The measuring faces shall be flat to within 0,001 mm and parallel to within 0,003 mm. The micrometer shall be graduated in divisions of 0,01 mm and have an accuracy of $\pm 0,005\text{ mm}$. The pressure exerted on the specimens shall be 0,1 MPa to 0,3 MPa.

5.1.2 Procedure

The thickness of the laminated pressboard sheet shall be measured to the nearest 0,01 mm in the as-received condition at eight points, two along each edge, but not less than 20 mm from the edge.

In case of dispute, a strip $(40 \pm 1)\text{ mm}$ wide shall be cut across the full width of the sheet and, from this strip, at eight equally spaced positions eight test specimens shall be cut, each not less than 40 mm long. The test specimens shall be conditioned in accordance with Clause 3 and the thickness of each measured at a point near the centre of each test specimen.

5.1.3 Result

The central value of the eight measurements shall be taken as the result, and the minimum and maximum values obtained shall be reported.

5.1.4 Flatness

When any laminated pressboard sheet is placed without restraint, concave side up, on a flat surface, the departure at any point of the upper surface of the sheet from a light straight edge of (1000 ± 10) mm or (500 ± 5) mm, laid in any direction upon it, shall not exceed the value given in IEC 60763-3 appropriate to the material, its thickness and length of straight edge. The mass of the straight edge shall not exceed (500 ± 5) g.

6 Mechanical tests

6.1 Flexural strength and load to produce a standard deflection

6.1.1 General

The test shall be carried out with the load applied perpendicular to the laminations.

6.1.2 Test specimens

Rectangular strips (20 ± 1) mm wide and of a length of not less than 20 times the measured thickness shall be used. The thickness is that of the board under test except that, when the measured thickness of a test piece exceeds 20 mm, the thickness shall be reduced to (20 ± 1) mm, one face of the test piece being left intact.

Five tests shall be carried out on specimens cut in machine direction (direction A) and five in cross-machine direction (direction B). (See definitions of directions A and B given in Figure 1.)

If the machine direction is not known, five specimens shall be cut with their length parallel to one of the edges of the sheet and five specimens at right angle thereto. The set of test specimens giving the highest value of flexural strength is deemed to have been cut with the length in machine direction.

6.1.3 Test apparatus

Universal testing apparatus designed to bend a test piece of given dimensions at an appropriate constant rate of bending and to measure the force and the deflection at midpoint of the test piece. A test rig for the determination of the three-point bending strength.

6.1.4 Conditioning

Test specimens shall be dried in accordance with Clause 4.

6.1.5 Procedure

After cooling in a desiccator, the width of the test specimen shall be immediately measured with an accuracy of $\pm 0,1$ mm and the thickness with an accuracy of $\pm 0,02$ mm, and the test specimen shall be immediately placed lengthwise symmetrically across two parallel supports. Where one surface has been removed, the original, intact surface shall rest on the two supports.

Where they are in contact with the test specimen, the surfaces of the supports shall have a radius of $(5 \pm 0,2)$ mm. The distance between the supports shall be 16 times the nominal thickness of the test specimen and shall be measured with an accuracy of $\pm 0,5$ %. The load shall be applied across the width of the test specimen by means of a loading member parallel with, and mid-way between, the supports. The radius of the end of the loading member shall be $(5 \pm 0,2)$ mm.

The load shall be increased steadily from zero to rupture by relative movement of the loading member and the supports at a constant rate. This rate of movement (which is the rate of deflexion of midpoint of the test specimen) shall be $(5 \pm 0,5)$ mm/min.

The load at a standard deflection of 0,4 mm shall be noted.

The maximum load shall be noted.

6.1.6 Results

The flexural strength σ_f in MPa of the test specimen shall be calculated as follows:

$$\sigma_f = \frac{1,5 \cdot F \cdot L}{bh^2}$$

where

F is the maximum load (in N);

L is the distance between the supports (in mm);

b is the width of the test specimen (in mm);

h is the thickness of the test specimen (mm).

The flexural strength and load to produce the standard deflection in the machine and cross-machine direction shall be reported, as the central value of the results from the five test specimens, cut in each direction.

6.2 Apparent modulus of elasticity in flexure

The apparent modulus of elasticity in flexure E in MPa can be calculated from the load at 0,4 mm deflection according to 6.1.4 using the following formula:

$$E_B = \frac{L^3}{4b \cdot h^3} \cdot \frac{F}{0,4}$$

where

L is the distance between the supports (in mm);

b is the width of the test specimen (in mm);

h is the thickness of the test specimen (in mm);

F is the load at deflection of 0,4 mm (in N).

The apparent modulus of elasticity in flexure in the machine and cross-machine direction shall be reported, as the central value of the results from the five test specimens, cut in each direction.

7 Compressibility

7.1 Principle

To determine the compressibility of laminated pressboard, a stack of test pieces shall be subjected to a low pressure (bedding pressure), followed by an increase of the pressure to a defined value (final pressure). The percentage change in the thickness of the pad is a measure of the compressibility of the material.

Subsequently, the pressure shall be decreased again to the bedding pressure. The percentage changes in the thickness of the pad allows the calculation of the reversible/residual compressibility of the material.

7.2 Test apparatus

Universal testing apparatus designed to compress a test piece of given dimensions at an appropriate constant rate of compression and to measure the compressive force and the deflection of the test piece. A test rig with parallel steel plates, parallel within 0,2 mm, and an area greater than the area of the test piece itself.

7.3 Test pieces

A sufficient number of square test pieces with an edge length of $(25 \pm 0,5)$ mm shall be cut. The number of test pieces shall be chosen so that three stacks of a height of 25 mm to 85 mm can be made. For materials of a thickness greater than 85 mm, the specimens shall be machined only on one face to a thickness of $(85 \pm 0,25)$ mm. All edges of the test specimens shall be free of burrs. The test pieces shall be dried in accordance with Clause 4.

7.4 Procedure

A stack of test pieces shall be placed between the plates of the test rig. A bedding pressure of $(1 \pm 0,1)$ MPa shall be applied for at least 5 min and then the height h_0 of the stack shall be measured with an accuracy of $\pm 0,1$ mm.

The pressure shall be increased to $(20 \pm 0,1)$ MPa. During this operation, the rate of displacement of the moving plate shall be (5 ± 1) mm per minute. This pressure shall be maintained for 5 min minimum.

The difference in height Δh_1 from h_0 of the stack shall be measured with an accuracy of $\pm 0,01$ mm.

The pressure shall be reduced to $(1 \pm 0,1)$ MPa and kept for not less than 5 min.

The difference in height Δh_2 from h_0 of the stack shall be measured with an accuracy of $\pm 0,01$ mm after the bedding pressure has been restored.

7.5 Results

The following calculated values shall be reported.

Compressibility (in %):

$$C = \frac{\Delta h_1}{h_0} \times 100$$

Residual amount of the compressibility (in %):

$$C_{\text{res}} = \frac{\Delta h_2}{\Delta h_1} \times 100$$

Reversible amount of the compressibility (in %):

$$C_{\text{rev}} = \frac{\Delta h_1 - \Delta h_2}{\Delta h_1} \times 100$$

All three values shall be reported. The central value shall be taken as the result.

8 Electric strength in oil

8.1 General and conditioning

Electric strength shall be determined by the method specified in IEC 60243-1. The test shall be carried out in mineral oil Class II (see IEC 60296) at $23\text{ °C} \pm 2\text{ K}$. The specimens shall be dried and oil-impregnated as described in the test for oil absorption (see Clause 13), except that the vacuum drying time shall be $(48 \pm 4)\text{ h}$. Drying and impregnation shall be carried out after machining. After drying and impregnation, the specimens shall be placed in position between the electrodes. At no time between impregnation and testing the specimens shall be exposed to the atmosphere.

8.2 Electric strength along laminate (edgewise electric strength)

8.2.1 Method 1 for materials with a thickness of more than 25 mm

Five specimens shall be tested. The size of the test specimens and the arrangements of the electrodes shall be as shown in Figure 2.

The cylindrical electrodes shall be $(6 \pm 0,1)\text{ mm}$ in diameter and have hemispherical ends. Each hole shall be not more than $0,1\text{ mm}$ greater in diameter than each electrode diameter.

Alternative forms of vented electrodes are shown in Figure 3. When electrodes with slots are used, these slots shall be diametrically opposed to the gap between the electrodes.

The holes shall be pre-drilled by a normal point-ground drill down to the outermost glue-layer. By means of a specially ground, well-sharpened drill with a radius of $(3 \pm 0,1)\text{ mm}$, the final drilling shall be carried out so that the outermost glue layer is broken through. The drilling shall be done with great care so that the test specimen is not subjected to mechanical or thermal stresses and the drill does not break through the outermost layer. The application of voltage shall be in accordance with 9.1 of IEC 60243-1. The breakdown voltage shall be taken as the result. The central value of the five tests and the lowest value shall be reported.

8.2.2 Method 2 for materials with a thickness between 10 mm and 25 mm

Five specimens shall be tested. Test specimens of full thickness with a width of $(10 \pm 0,2)\text{ mm}$ and a length of $(50 \pm 1)\text{ mm}$ shall be cut so that exact parallel planes forming right angles to the surface of the material are produced. The electrodes shall be in accordance with Figure 6 of IEC 60243-1. The application of voltage shall be in accordance with 9.1 of IEC 60243-1. The breakdown voltage shall be taken as the result. The central value of the five tests and the lowest value shall be reported.

9 Internal ply strength, thermal resistance and oil compatibility

9.1 Principle

The test consists of determining the change of flexural strength of the material at room temperature and at 120 °C and before and after ageing in oil.

9.2 Test specimens

Rectangular strips $(10 \pm 1)\text{ mm}$ wide and of a length of $(10 \pm 0,5)$ times the measured thickness shall be used. The thickness shall be that of the board under test except that, when the measured thickness of a test piece exceeds 15 mm , the thickness shall be reduced to $(15 \pm 0,5)\text{ mm}$, one face of the test piece being left intact.

Twenty test specimens cut in machine direction and 20 test specimens cut in cross- machine direction shall be prepared.

9.3 Test apparatus

Universal testing apparatus designed to bend a test piece of given dimensions at an appropriate constant rate of bending and to measure the force and the deflection at midpoint of the test piece. A test rig for the determination of the three-point bending strength.

9.4 Procedure

All the specimens shall be dried according to Clause 4, Method A. Twenty of the dried specimens shall be tested as indicated in Table 1.

The rest of the specimens shall be oil-impregnated according to 13.2. Ten oil-impregnated specimens shall be tested according to Table 1.

The oil vessel with the remaining 10 test specimens shall be placed in an oven with forced air circulation at $120\text{ °C} \pm 2\text{ K}$. The vessel shall be covered with aluminium foil. After $(168 \pm 4)\text{ h}$, the heating shall be switched off and the oil allowed to cool down to ambient temperature. Ten aged samples shall be tested according to Table 1.

Table 1 – Number of test specimens

Orientation of the board	Dried		Oil-impregnated	Oil-impregnated and aged
Test temperature	23 °C $\pm 2\text{ K}$	120 °C $\pm 2\text{ K}$	23 °C $\pm 2\text{ K}$	23 °C $\pm 2\text{ K}$
Machine direction	5	5	5	5
Cross-machine direction	5	5	5	5

9.5 Determination of the flexural strength

The test shall be carried out with the load applied perpendicular to the laminations. After cooling in a desiccator, the width of the test specimen shall be immediately measured with an accuracy of $\pm 0,1\text{ mm}$ and the thickness with an accuracy of to $\pm 0,02\text{ mm}$; the test specimen shall be immediately placed symmetrically across two parallel supports. Where one surface has been removed, the original, intact surface should rest on the two supports.

The surfaces of the supports where they are in contact with the test specimen shall have a radius of $(5 \pm 0,2)\text{ mm}$. The distance between the supports shall be $(6,6 \pm 0,2)$ times the nominal thickness of the test specimen and shall be measured to within 0,5 %. The load shall be applied uniformly across the width of the test specimen by means of a loading member parallel with, and mid-way between, the supports. The radius of the end of the loading member shall be $(5 \pm 0,1)\text{ mm}$.

The load shall be increased steadily from zero by relative movement of the loading member and the supports at a constant rate. This rate of movement (which is the rate of deflexion of midpoint of the test specimen) shall be $(5 \pm 0,5)\text{ mm/min}$.

The maximum load shall be noted.

The location of the rupture – within pressboard, within glue line, interface board/glue – shall be noted.

9.6 Results

The flexural strength σ_f in MPa of the test specimen shall be calculated as follows:

$$\sigma_f = \frac{1,5 \cdot F \cdot L}{bh^2}$$

where

F is the maximum load (in N);

L is the distance between the supports (in mm);

b is the width of the test specimen (in mm);

h is the thickness of the test specimen (in mm).

The internal ply adhesion is indicated by the location of the rupture.

The thermal resistance is expressed in terms of percentage retention of the measured flexural strength of the dry samples tested at 120 °C relative to the strength at 23 °C.

The oil compatibility is expressed in terms of percentage retention of the measured properties of the oil-impregnated samples tested at 23 °C relative to the properties of the dry samples tested at 23 °C.

The resistance to ageing in oil is expressed in terms of percentage retention of the measured properties of the samples aged at 120 °C relative to the properties of the oil-impregnated, non-aged samples.

The central values of the thermal resistance, the oil compatibility and the resistance to ageing shall be taken as the results.

10 Apparent density

10.1 Test specimens

The test shall be carried out on three conditioned test pieces; one determination shall be made on each of the three test pieces.

Rectangular test pieces of an area not less than 100 cm² shall be used.

10.2 Procedure

The mass of the test specimen shall be measured to an accuracy of $10^{-4} \times$ the mass of the test piece.

Two measurements of the length and two of the width of each test piece to an accuracy of 0,1 mm shall be made at points at least 12 mm from the corners.

The thickness shall be determined by making eight measurements as indicated in 5.1 and the mean value of the measurements calculated.

10.3 Results

The apparent density ρ (the mass to volume ratio) shall be expressed as g/cm³.

$$\rho = \frac{m}{s \times l \times w} \times 10^3$$

where

m is the mass, in g;

s is the mean of the eight thickness measurements (in mm);

l is the mean of the two length measurements (in mm);

w is the mean of the two width measurements (in mm)

All three values shall be reported. The central value shall be taken as the result.

11 Moisture content

The moisture content in the as-received condition shall be measured according to a method based on ISO 287.

Three test specimens of at least 50 g mass, preferably measuring 100 mm × 25 mm × original thickness in the as-received condition, shall be weighed with an accuracy of ±1 mg, then dried and cooled in accordance with Clause 3 and reweighed to the same accuracy as before. The moisture content is the loss of mass expressed as a percentage of the original mass. The central value of the three measurements shall be taken as the result; the other two values shall be reported.

12 Shrinkage in air after drying

12.1 Test specimens

Six specimens measuring approximately 50 mm × 300 mm shall be cut, three being in machine direction A and three in cross-direction B (see Figure 1).

12.2 Procedure

After the specimens have been conditioned in accordance with Clause 3, their lengths and thicknesses shall be measured, one measurement being made of the length of each specimen and one of the thickness which shall be made at a point not less than 20 mm from an edge.

The specimens shall then be dried in accordance with Clause 4.

After cooling to room temperature in a desiccator, the length and thickness shall be measured again. The length before and after drying shall be measured with an accuracy of ± 0,05 mm; the thickness with an accuracy of ± 0,01 mm.

12.3 Results

The shrinkage in length shall be calculated for the directions A and B as the percentage change in dimensions of the original measurements of the conditioned test specimens. For each direction, the central value shall be taken as the result; the other two values shall be reported. For the shrinkage in thickness the central value shall be taken as the result; the highest and lowest values shall be reported.

13 Oil absorption

13.1 Test specimens

The test shall be carried out on three specimens each 100 mm × 25 mm and of the same thickness as the material under test.

13.2 Procedure

The specimens shall be dried in accordance with Clause 4, Method A, and the mass then determined to the nearest milligram.

The specimens shall be placed in a vacuum chamber, the temperature raised to $90\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ K}$ and the pressure reduced to not more than 1 kPa.

This temperature and pressure shall be maintained for 1 h. Then oil conforming to the requirements of Class II in IEC 60296, preheated to $90\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ K}$, shall be admitted at a rate slow enough to ensure that the pressure does not rise above 2,5 kPa.

When the specimens are completely submerged, using sinkers if necessary, the pressure shall be allowed to rise slowly to atmospheric pressure and the heating switched off. The specimens shall be left under oil for $(24 \pm 1)\text{ h}$. The specimens shall then be taken from the oil and the surplus oil removed with blotting paper. The clean specimens shall then be weighed to the same accuracy as before and the mass of the absorbed oil determined.

13.3 Results

The results shall be expressed as the percentage of the mass of oil absorbed in relation to the original mass of the dried samples. The central value of the three determinations shall be taken as the result and the other two shall be reported.

14 Ash content

14.1 Procedure

The amount of residue of material left after incineration of the material in the as-received condition shall be determined according to the method described in ISO 2144. The mass of the specimen shall be at least 5 g and the sample shall be taken so that the glue/cellulose ratio is representative of the board under test. Three determinations shall be made.

14.2 Results

The central value obtained shall be taken as the result, based on oven-dry material (calculated from determination of moisture content according to 9.3); the highest and lowest values are reported.

15 Contamination of liquid dielectrics

15.1 Apparatus

- A conductivity cell according to IEC 60247.
- A cell for the determination of the dissipation factor of liquids according to IEC 60250.
- A vessel to contain oil, of neutral or borosilicate glass with a volume of at least 1 l in which an atmosphere of dry nitrogen may be maintained above the oil.
- An oven with forced air circulation, controllable to $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ K}$.
- Clean metal tongs.
- Dry oil (Class II of IEC 60296) whose neutralization value and dissipation factor at $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ and 48 Hz to 62 Hz have been determined.

NOTE Cells of Figures 2 and 3 of IEC 60250 are also usable for resistivity measurement and accordingly described in IEC 60247.

15.2 Test specimens

A sufficient amount of material finely cut into pieces thinner than 1 mm and with a surface area of about 1 cm^2 and that has been dried at $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ K}$ for a period of at least 16 h. The specimens shall be handled by means of clean metal tongs.

15.3 Procedure

In the vessel $(75 \pm 0,1)$ g of the specimens shall be immersed in (750 ± 5) cm³ of the oil. It is advisable to check the cleanliness of the vessel. An atmosphere of dry nitrogen shall be maintained above the oil. The vessel containing the oil with the specimens together with an identical vessel containing the same oil as blank shall be heated at $100 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1 \text{ K}$ for a period of (168 ± 4) h.

After this period, the neutralization value according to IEC 62021-1, the sludge content according to IEC 61125 and the dissipation factor according to IEC 60247 at $90 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1 \text{ K}$ and 48 Hz to 62 Hz shall be measured for both the test oil and the blank.

15.4 Results

The difference between the two values obtained shall be taken as the result.

16 Conductivity of aqueous extract

16.1 Procedure

The test shall be carried out as described in IEC 60641-2 but specimens shall be taken so that the glue/cellulose ratio is representative of the whole thickness of the board. If strips are used, these should be not larger than $20 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ but smaller subdivisions may be used provided the glue/cellulose ratio is maintained.

16.2 Results

The conductivity shall be expressed in millisiemens per metre (mS/m).

17 pH of aqueous extract

The test shall be carried out as described in IEC 60641-2 but using an extract prepared as in 16.1.

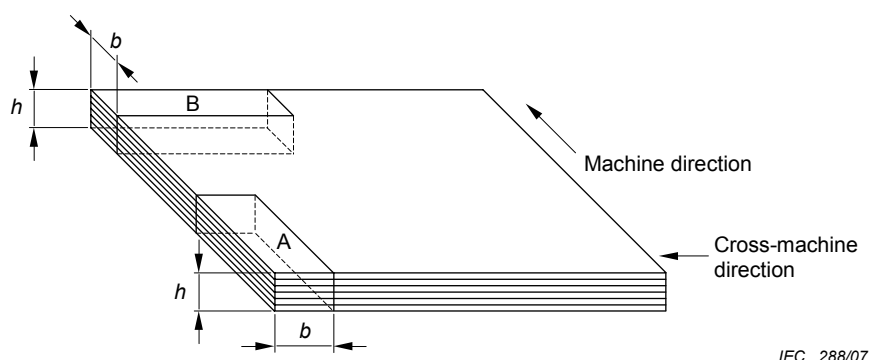


Figure 1 – Position of test specimen in relation to length, width and thickness of sheet

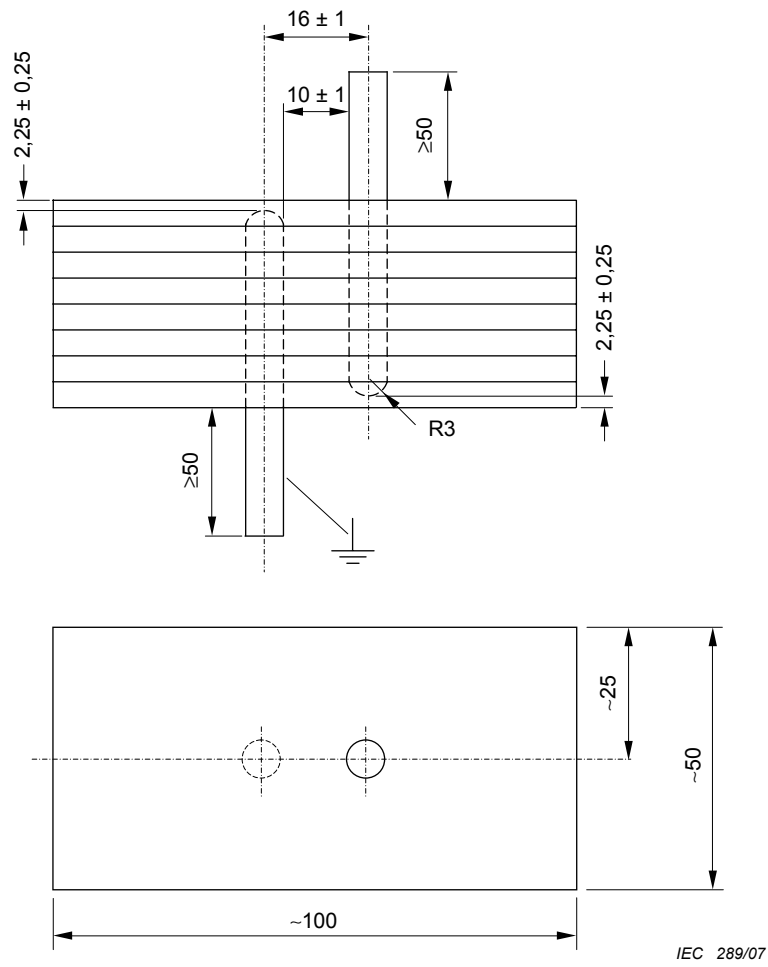
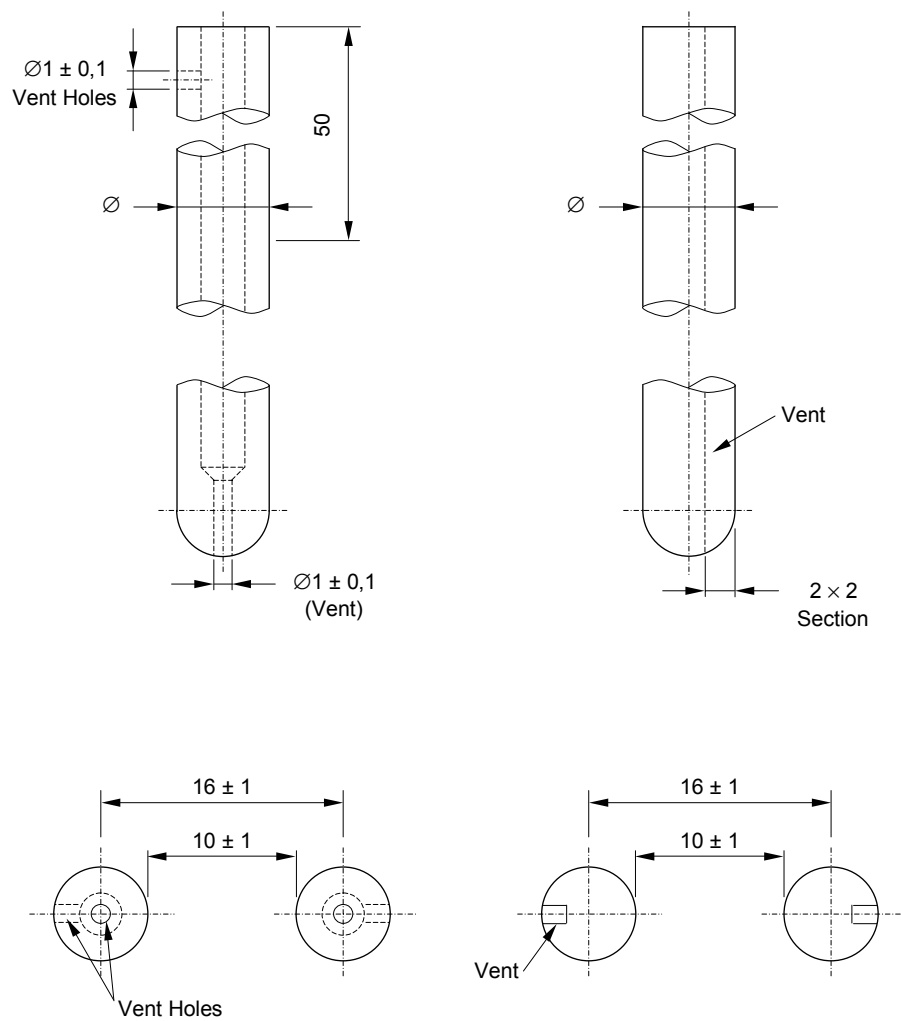


Figure 2 – Size of the test specimens and arrangement of the electrodes for testing the electric strength along laminae (edgewise electric strength)



Figures 3 and 4 – Alternative forms of vented electrodes

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	22
INTRODUCTION.....	24
1 Domaine d'application	25
2 Références normatives.....	25
3 Conditionnement des éprouvettes d'essai.....	25
4 Séchage des éprouvettes d'essai	26
4.1 Méthode A (préférable).....	26
4.2 Méthode B.....	26
5 Dimensions	26
5.1 Epaisseur	26
5.1.1 Appareillage d'essai	26
5.1.2 Mode opératoire	26
5.1.3 Résultats	26
5.1.4 Planéité	26
6 Essais mécaniques.....	27
6.1 Résistance à la flexion et contrainte produisant une flèche conventionnelle	27
6.1.1 Généralités.....	27
6.1.2 Eprouvettes d'essai	27
6.1.3 Appareillage d'essai	27
6.1.4 Conditionnement	27
6.1.5 Mode opératoire	27
6.1.6 Résultats	28
6.2 Module d'élasticité apparent à la flexion	28
7 Compressibilité.....	28
7.1 Principe.....	28
7.2 Appareillage d'essai	28
7.3 Eprouvettes	29
7.4 Mode opératoire	29
7.5 Résultats.....	29
8 Rigidité électrique dans l'huile	30
8.1 Généralités et conditionnement	30
8.2 Rigidité diélectrique le long des lignes de colle (rigidité diélectrique sur l'arête).....	30
8.2.1 Méthode 1 pour matériaux d'épaisseur supérieure à 25 mm.....	30
8.2.2 Méthode 2 pour matériaux d'épaisseur comprise entre 10 mm et 25 mm.....	30
9 Résistance à la traction des couches internes, résistance thermique et compatibilité avec l'huile.....	30
9.1 Principe.....	30
9.2 Eprouvettes d'essai	30
9.3 Appareillage d'essai	31
9.4 Mode opératoire	31
9.5 Détermination de la résistance à la flexion	31
9.6 Résultats.....	32
10 Masse volumique apparente	32
10.1 Eprouvettes d'essai	32

10.2	Mode opératoire	32
10.3	Résultats	32
11	Teneur en humidité	33
12	Retrait dans l'air après séchage	33
12.1	Eprouvettes d'essai	33
12.2	Mode opératoire	33
12.3	Résultats	33
13	Absorption d'huile	34
13.1	Eprouvettes d'essai	34
13.2	Mode opératoire	34
13.3	Résultats	34
14	Teneur en cendre	34
14.1	Mode opératoire	34
14.2	Résultats	34
15	Contamination des diélectriques liquides	34
15.1	Appareillage	34
15.2	Eprouvettes d'essai	35
15.3	Mode opératoire	35
15.4	Résultats	35
16	Conductivité de l'extrait aqueux	35
16.1	Mode opératoire	35
16.2	Résultats	35
17	pH de l'extrait aqueux	35
Figure 1 – Position de l'éprouvette d'essai en fonction de la longueur, de la largeur et de l'épaisseur de la feuille		36
Figure 2 – Taille des éprouvettes d'essai et disposition des électrodes pour l'essai de rigidité diélectrique le long des lignes de colle (rigidité diélectrique sur l'arête)		36
Figures 3 et 4 – Autres formes d'électrodes munies d'un orifice de sortie		37
Tableau 1 – Nombre d'éprouvettes d'essai		31

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

SPÉCIFICATION POUR CARTONS COMPRIMÉS ET CONTRECOLLÉS –

Partie 2: Méthodes d'essai

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). 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 de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI 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 60763-2 a été établie par le comité d'études 15 de la CEI: Matériaux isolants électriques solides.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition publiée en 1991 et constitue une révision technique.

La présente édition comporte les modifications techniques significatives suivantes par rapport à l'édition précédente.

- a) D'une manière générale, la norme a été révisée et mise en conformité avec la CEI 60641-2.
- b) La méthode d'essai permettant de déterminer la résistance à la traction des couches internes a été remplacée par une autre méthode.
- c) Le domaine d'application de la méthode d'essai permettant de déterminer la résistance thermique a été élargi.

La présente version bilingue, publiée en 2009-06, correspond à la version anglaise.

Le texte anglais de cette norme est issu des documents 15/360/FDIS et 15/373/RVD.

Le rapport de vote 15/373/RVD donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

La version française de cette norme n'a pas été soumise au vote.

La liste de toutes les parties de la CEI 60763, sous le titre général *Spécification pour cartons comprimés et contrecollés*, est disponible sur le site web de la CEI.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

INTRODUCTION

La présente Norme internationale traite des cartons comprimés et contrecollés définis à l'Article 2 de la CEI 60763-1.

La CEI 60641 est applicable aux cartons comprimés non contrecollés; le matériau couvert par la présente Norme internationale est constitué de feuilles conformes aux exigences de cette publication.

SPÉCIFICATION POUR CARTONS COMPRIMÉS ET CONTRECOLLÉS –

Partie 2: Méthodes d'essai

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60763 expose les méthodes d'essai applicables aux matériaux classés dans la CEI 60763-1.

2 Références normatives

Les documents référencés suivants sont indispensables à l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document référencé (y compris ses amendements) s'applique.

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

CEI 60247:2004, *Liquides isolants – Mesure de la permittivité relative, du facteur de dissipation diélectrique ($\tan \delta$) et de la résistivité en courant continu*

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

CEI 60296:2003, *Fluides pour applications électrotechniques – Huiles minérales isolantes neuves pour transformateurs et appareillages de connexion*

CEI 60641-2:2004, *Carton comprimé et papier comprimé à usages électriques – Partie 2: Méthodes d'essai*

CEI 60763-1:1983, *Spécification pour cartons comprimés et contrecollés – Partie 1: Définitions, classification et prescriptions générales*

CEI 61125:1992, *Isolants liquides neufs à base d'hydrocarbures – Méthodes d'essai pour évaluer la stabilité à l'oxydation*

CEI 62021-1:2003, *Liquides isolants – Détermination de l'acidité – Partie 1: Titration potentiométrique automatique*

ISO 287:1985, *Papier et carton – Détermination de l'humidité – Méthode par séchage à l'étuve*

ISO 2144:1997, *Papier, carton et pâtes – Détermination du résidu (cendres) après incinération à 900 degrés C*

3 Conditionnement des éprouvettes d'essai

Etant donné que le conditionnement des cartons comprimés et contrecollés prend beaucoup de temps, le matériau est soumis à essai à l'état de livraison ou séché. Le matériau doit être conditionné selon le mode opératoire suivant en cas de litige uniquement.

Le conditionnement doit être réalisé à $23\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ et $(50 \pm 5)\%$ d'humidité relative tant que la teneur en humidité de l'éprouvette n'est pas comprise entre 5,5 % et 8 %. Le conditionnement doit être approché du côté sec après séchage à $70\text{ °C} \pm 5\text{ K}$ pendant une période suffisante pour s'assurer que l'atmosphère de conditionnement produise une augmentation de la masse dans l'éprouvette.

4 Séchage des éprouvettes d'essai

4.1 Méthode A (préférable)

Les éprouvettes d'essai doivent être séchées à $105\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ pendant $(24 \pm 1)\text{ h}$ dans une étuve à ventilation forcée, et par la suite à $105\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ pendant $(48 \pm 2)\text{ h}$ dans une enceinte à vide sous une pression résiduelle inférieure ou égale à 1 kPa. Les éprouvettes doivent ensuite être retirées et mises à refroidir sous dessiccateur avant l'essai.

4.2 Méthode B

Les éprouvettes d'essai doivent être séchées dans une étude à ventilation forcée à $105\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ pendant $(168 \pm 8)\text{ h}$ à la pression atmosphérique. Si les éprouvettes de la taille spécifiée sont séchées conformément à la méthode B, les résultats d'essai analogues aux résultats d'essai obtenus après séchage conformément à la méthode A peuvent être attendus.

5 Dimensions

5.1 Epaisseur

5.1.1 Appareillage d'essai

Un micromètre à vis externe muni de touches de 6 mm à 8 mm de diamètre doit être utilisé pour les essais. Ces touches doivent être planes à 0,001 mm près et parallèles à 0,003 mm près. Le micromètre doit être gradué en divisions de 0,01 mm et selon une précision de $\pm 0,005\text{ mm}$. La pression exercée sur les éprouvettes doit être de 0,1 MPa à 0,3 MPa.

5.1.2 Mode opératoire

L'épaisseur du carton comprimé et contrecollé doit être mesurée au 0,01 mm près, en l'état de livraison, en huit points répartis deux par deux le long de chaque bord, mais pas à moins de 20 mm de celui-ci.

En cas de contestation, une bande de $(40 \pm 1)\text{ mm}$ de large doit être découpée dans toute la largeur de la feuille et huit éprouvettes découpées dans cette bande à intervalles égaux, chaque éprouvette ayant au moins 40 mm de long. Les éprouvettes doivent être conditionnées conformément à l'Article 3 et l'épaisseur de chacune mesurée en un point voisin de leur centre.

5.1.3 Résultats

Le résultat doit être la valeur médiane des huit mesures, les valeurs minimale et maximale obtenues devant également être consignées.

5.1.4 Planéité

Lorsqu'une feuille de carton comprimé et contrecollé est déposée sans contrainte, la face incurvée en dessus, sur une surface plane, la distance d'un point quelconque de la surface supérieure à une règle rigide légère, d'une longueur de $(1000 \pm 10)\text{ mm}$ ou $(500 \pm 5)\text{ mm}$, déposée sur celle-ci dans n'importe quel sens, ne doit pas dépasser la valeur indiquée dans la CEI 60763-3 pour le matériau considéré, son épaisseur et la longueur de la règle. La masse de la règle légère ne doit pas dépasser $(500 \pm 5)\text{ g}$.

6 Essais mécaniques

6.1 Résistance à la flexion et contrainte produisant une flèche conventionnelle

6.1.1 Généralités

L'essai doit être conduit avec une contrainte appliquée perpendiculairement aux plans d'encollage.

6.1.2 Eprouvettes d'essai

Des bandes rectangulaires de (20 ± 1) mm de large dont la longueur est d'au moins 20 fois l'épaisseur mesurée doivent être utilisées. L'épaisseur est celle du matériau soumis à essai, sauf si elle dépasse 20 mm, auquel cas elle doit être réduite à (20 ± 1) mm, en laissant une face intacte.

Cinq essais doivent être effectués sur des éprouvettes découpées dans le sens machine (sens A) et cinq dans le sens transversal (sens B) (voir définition des sens A et B indiquée sur la Figure 1).

Si le sens machine n'est pas connu, cinq éprouvettes doivent être découpées, leur longueur étant parallèle à l'un des bords de la feuille, et cinq éprouvettes découpées en angle droit. La série d'éprouvettes donnant la valeur la plus élevée pour la résistance à la flexion est considérée comme ayant été découpée avec sa longueur dans le sens machine.

6.1.3 Appareillage d'essai

Appareillage d'essai universel conçu pour plier une éprouvette de dimensions données selon une vitesse de pliage constante appropriée et pour mesurer la force et la flèche au point milieu de l'éprouvette. Un montage d'essai permettant de déterminer la résistance à la flexion en trois points.

6.1.4 Conditionnement

Les éprouvettes doivent être séchées conformément à l'Article 4.

6.1.5 Mode opératoire

Après refroidissement sous dessiccateur, la largeur de l'éprouvette doit être mesurée immédiatement à $\pm 0,1$ mm près et son épaisseur à $\pm 0,02$ mm près. L'éprouvette doit être placée immédiatement dans le sens de la longueur symétriquement sur les deux supports parallèles. Si l'une des surfaces a été abaissée, la surface intacte d'origine doit reposer sur les deux supports.

Lorsqu'elles sont en contact avec l'éprouvette, les surfaces des supports doivent présenter un rayon de $(5 \pm 0,2)$ mm. Les supports doivent être espacés de 16 fois l'épaisseur nominale de l'éprouvette, cet espacement devant être mesuré à $\pm 0,5$ % près. La contrainte doit être appliquée sur la largeur de l'éprouvette à l'aide d'une pièce d'appui placée parallèlement aux supports et à mi-distance de ceux-ci. Cette pièce d'appui doit présenter un rayon de $(5 \pm 0,2)$ mm au contact de l'éprouvette.

La contrainte doit être augmentée régulièrement en partant de zéro jusqu'à la rupture en suivant un mouvement relatif de la pièce d'appui et des supports à une vitesse constante. Cette vitesse (qui est la vitesse de fléchissement au point milieu de l'éprouvette) doit être de $(5 \pm 0,5)$ mm/min.

La contrainte pour une flèche normalisée de 0,4 mm doit être notée.

La contrainte maximale doit être notée.

6.1.6 Résultats

La résistance à la flexion σ_f , en MPa, de l'éprouvette doit être calculée comme suit:

$$\sigma_f = \frac{1,5 \cdot F \cdot L}{bh^2}$$

où

F est la contrainte maximale (en N);

L est la distance entre les supports (en mm);

b est la largeur de l'éprouvette (en mm);

h est l'épaisseur de l'éprouvette (en mm).

La résistance à la flexion et la contrainte produisant la flèche conventionnelle dans le sens machine et dans le sens transversal doivent être reportées, comme la valeur médiane des résultats issus des cinq éprouvettes, découpées dans chaque sens.

6.2 Module d'élasticité apparent à la flexion

Le module d'élasticité apparent à la flexion E , en MPa, peut être calculé pour un fléchissement de 0,4 mm, obtenu selon 6.1.4, en utilisant la formule suivante:

$$E_B = \frac{L^3}{4b \cdot h^3} \cdot \frac{F}{0,4}$$

où

L est la distance entre les supports (en mm);

b est la largeur de l'éprouvette (en mm);

h est l'épaisseur de l'éprouvette (en mm);

F est la contrainte produisant une flèche de 0,4 mm (en N).

Le module d'élasticité apparent à la flexion dans le sens machine et dans le sens transversal doit être reporté, comme la valeur médiane des résultats issus des cinq éprouvettes, découpées dans chaque sens.

7 Compressibilité

7.1 Principe

Pour déterminer la compressibilité des cartons comprimés et contrecollés, un ensemble d'éprouvettes doit être soumis à une faible pression (pression de tassement), qui est ensuite augmentée jusqu'à une valeur définie (pression finale). La variation en pourcentage de l'épaisseur du segment permet de mesurer la compressibilité du matériau.

Par la suite, la pression doit être diminuée jusqu'à la pression de tassement. Les variations en pourcentage de l'épaisseur du segment permettent de calculer la compressibilité réversible/résiduelle du matériau.

7.2 Appareillage d'essai

Appareillage d'essai universel conçu pour compresser une éprouvette de dimensions données à vitesse de compression constante appropriée et pour mesurer la force de compression et la

flèche de l'éprouvette. Un montage d'essai avec des plaques d'acier parallèles, à 0,2 mm près, et une surface supérieure à celle de l'éprouvette elle-même.

7.3 Eprouvettes

Un nombre suffisant d'éprouvettes carrées de $(25 \pm 0,5)$ mm de côté doivent être découpées. Le nombre d'éprouvettes doit être choisi de manière à créer trois piles de 25 mm à 85 mm de haut. Dans le cas de matériaux d'épaisseur supérieure à 85 mm, les éprouvettes doivent être usinées sur une seule face jusqu'à une épaisseur de $(85 \pm 0,25)$ mm. Les bords des éprouvettes ne doivent comporter aucune bavure. Les éprouvettes doivent être séchées conformément à l'Article 4.

7.4 Mode opératoire

Une pile d'éprouvettes doit être placée entre les plaques du montage d'essai. Une pression de tassement de $(1 \pm 0,1)$ MPa doit être appliquée pendant au moins 5 min, puis la hauteur h_0 de la pile mesurée à $\pm 0,1$ mm près.

La pression doit être réduite à $(20 \pm 0,1)$ MPa. Lors de cette opération, la vitesse de déplacement de la plaque mobile doit être de (5 ± 1) mm par minute. Cette pression doit être maintenue pendant au moins 5 min.

La différence de hauteur Δh_1 à partir de h_0 de la pile doit être mesurée à $\pm 0,01$ mm près.

La pression doit être réduite à $(1 \pm 0,1)$ MPa et maintenue pendant au moins 5 min.

La différence de hauteur Δh_2 à partir de h_0 de la pile doit être mesurée à $\pm 0,01$ mm près après rétablissement de la pression de tassement.

7.5 Résultats

Les valeurs calculées suivantes doivent être reportées.

Compressibilité (en %):

$$C = \frac{\Delta h_1}{h_0} \times 100$$

Quantité résiduelle de la compressibilité (en %):

$$C_{\text{res}} = \frac{\Delta h_2}{\Delta h_1} \times 100$$

Quantité réversible de la compressibilité (en %):

$$C_{\text{rev}} = \frac{\Delta h_1 - \Delta h_2}{\Delta h_1} \times 100$$

Les trois valeurs doivent être reportées. La valeur médiane doit être considérée comme le résultat.

8 Rigidité électrique dans l'huile

8.1 Généralités et conditionnement

La rigidité électrique doit être déterminée par la méthode spécifiée par la CEI 60243-1. Les essais doivent être effectués dans une huile minérale répondant aux exigences de la classe II (voir la CEI 60296) à $23 \text{ °C} \pm 2 \text{ K}$. Les éprouvettes doivent être séchées et imprégnées d'huile dans les conditions définies pour l'essai d'absorption d'huile (voir l'Article 13), à l'exception du temps de séchage sous vide qui doit être de $(48 \pm 4) \text{ h}$. Le temps de séchage et d'imprégnation doit être prévu après l'usinage. Après séchage et imprégnation, les éprouvettes doivent être mises en place entre les électrodes. A aucun moment les éprouvettes ne doivent être exposées à l'air libre entre l'imprégnation et l'essai.

8.2 Rigidité diélectrique le long des lignes de colle (rigidité diélectrique sur l'arête)

8.2.1 Méthode 1 pour matériaux d'épaisseur supérieure à 25 mm

Cinq éprouvettes doivent être soumises à essai. La Figure 2 représente la taille des éprouvettes et la disposition des électrodes.

Les électrodes cylindriques doivent avoir un diamètre de $(6 \pm 0,1) \text{ mm}$ et une extrémité hémisphérique. Le diamètre de chaque trou ne doit pas dépasser de plus de $0,1 \text{ mm}$ le diamètre de l'électrode.

La Figure 3 représente d'autres formes d'électrodes munies d'un orifice de sortie. Lorsque les électrodes sont munies de rainures, celles-ci doivent être diamétralement opposées à l'intervalle entre les électrodes.

Des avant-trous doivent être percés avec un foret de centrage jusqu'à la dernière couche de colle. Le perçage définitif doit être réalisé avec un foret bien affûté, terminé par un rayon de $(3 \pm 0,1) \text{ mm}$ en vue d'obtenir le perçage de la dernière couche de colle. Le perçage doit être réalisé avec le plus grand soin de telle sorte que l'éprouvette ne fasse pas l'objet de contraintes mécaniques ou thermiques et que le perçage ne transperce pas la dernière couche. L'application de la tension doit être conforme à 9.1 de la CEI 60243-1. Le résultat doit être la tension de claquage. La valeur médiane et la valeur la plus faible des cinq essais doivent être consignées.

8.2.2 Méthode 2 pour matériaux d'épaisseur comprise entre 10 mm et 25 mm

Cinq éprouvettes doivent être soumises à essai. Les éprouvettes ont pour épaisseur l'épaisseur du matériau, leur largeur étant de $(10 \pm 0,2) \text{ mm}$ et leur longueur de $(50 \pm 1) \text{ mm}$. Elles doivent être découpées de façon à obtenir des plans exactement parallèles et des angles droits par rapport à la surface du matériau. Les électrodes doivent être conformes à la Figure 6 de la CEI 60243-1. La tension doit être appliquée conformément aux indications de 9.1 de la CEI 60243-1. Le résultat doit être la tension de claquage. La valeur médiane et la valeur la plus faible des cinq essais doivent être consignées.

9 Résistance à la traction des couches internes, résistance thermique et compatibilité avec l'huile

9.1 Principe

L'essai consiste à déterminer la variation de la résistance du matériau à la flexion à température ambiante et à 120 °C avant et après vieillissement dans l'huile.

9.2 Eprouvettes d'essai

Des bandes rectangulaires de $(10 \pm 1) \text{ mm}$ de large et de longueur $(10 \pm 0,5)$ fois l'épaisseur mesurée doivent être utilisées. L'épaisseur doit être celle du carton soumis à essai sauf si

l'épaisseur de l'éprouvette dépasse 15 mm, auquel cas elle doit être réduite à $(15 \pm 0,5)$ mm en laissant une face intacte.

Vingt éprouvettes découpées dans le sens machine et 20 autres dans le sens transversal doivent être préparées.

9.3 Appareillage d'essai

Appareillage d'essai universel conçu pour plier une éprouvette de dimensions données selon une vitesse de pliage constante appropriée et pour mesurer la force et la flèche au point milieu de l'éprouvette. Un montage d'essai permettant de déterminer la résistance à la flexion en trois points.

9.4 Mode opératoire

Toutes les éprouvettes doivent être séchées conformément à l'Article 4, méthode A. Vingt des éprouvettes séchées doivent être soumises à essai comme indiqué dans le Tableau 1.

Le reste des éprouvettes doit être imprégné d'huile conformément à 13.2. Dix éprouvettes imprégnées d'huile doivent être soumises à essai conformément au Tableau 1.

Le récipient d'huile contenant les 10 éprouvettes restantes doit être placé dans une étuve à ventilation forcée à $120\text{ °C} \pm 2\text{ K}$. Le récipient doit être couvert d'une feuille d'aluminium. Après (168 ± 4) h, le chauffage doit être coupé et l'huile refroidir à température ambiante. Dix échantillons vieillis doivent être soumis à essai conformément au Tableau 1.

Tableau 1 – Nombre d'éprouvettes d'essai

Orientation du carton	Séchées		Imprégnées d'huile	Imprégnées d'huile et vieilles
Température d'essai	23 °C $\pm 2\text{ K}$	120 °C $\pm 2\text{ K}$	23 °C $\pm 2\text{ K}$	23 °C $\pm 2\text{ K}$
Sens machine	5	5	5	5
Sens transversal	5	5	5	5

9.5 Détermination de la résistance à la flexion

L'essai doit être conduit avec une contrainte appliquée perpendiculairement aux plans d'encollage. Après refroidissement sous dessiccateur, la largeur de l'éprouvette doit être mesurée immédiatement à $\pm 0,1$ mm près et son épaisseur à $\pm 0,02$ mm près. L'éprouvette doit être placée immédiatement symétriquement sur les deux supports parallèles. Si l'une des surfaces a été abaissée, il convient que la surface intacte d'origine repose sur les deux supports.

Lorsqu'elles sont en contact avec l'éprouvette, les surfaces des supports doivent présenter un rayon de $(5 \pm 0,2)$ mm. Les supports doivent être espacés de $(6,6 \pm 0,2)$ fois l'épaisseur nominale de l'éprouvette, cet espacement devant être mesuré à $\pm 0,5\%$ près. La contrainte doit être appliquée uniformément sur la largeur de l'éprouvette à l'aide d'une pièce d'appui placée parallèlement aux supports et à mi-distance de ceux-ci. Cette pièce d'appui doit présenter un rayon de $(5 \pm 0,1)$ mm au contact de l'éprouvette.

La contrainte doit être augmentée régulièrement en partant de zéro en suivant un mouvement relatif de la pièce d'appui et des supports à une vitesse constante. Cette vitesse (qui est la vitesse de fléchissement au point milieu de l'éprouvette) doit être de $(5 \pm 0,5)$ mm/min.

La contrainte maximale doit être notée.

L'emplacement de la rupture (à l'intérieur du carton, de la ligne de colle, de l'interface carton/colle) doit être noté.

9.6 Résultats

La résistance à la flexion σ_f , en MPa, de l'éprouvette doit être calculée comme suit:

$$\sigma_f = \frac{1,5 \cdot F \cdot L}{bh^2}$$

où

F est la contrainte maximale (en N);

L est la distance entre les supports (en mm);

b est la largeur de l'éprouvette (en mm);

h est l'épaisseur de l'éprouvette (en mm).

L'adhésion des couches internes est indiquée par l'emplacement de la rupture.

La résistance thermique est exprimée, en pourcentage, par la variation de la résistance à la flexion mesurée des éprouvettes sèches à 120 °C par rapport à la résistance à 23 °C.

La compatibilité à l'huile est exprimée, en pourcentage, par la variation des caractéristiques mesurée sur les éprouvettes imprégnées d'huile soumises à essai à 23 °C par rapport à celles des éprouvettes sèches soumises à essai à 23 °C.

La résistance au vieillissement dans l'huile est exprimée, en pourcentage, par la variation des caractéristiques mesurée sur les éprouvettes vieilles à 120 °C par rapport à celles des éprouvettes imprégnées d'huile non vieilles.

Les résultats doivent être les valeurs médianes de la résistance thermique, de la compatibilité à l'huile et de la résistance au vieillissement.

10 Masse volumique apparente

10.1 Eprouvettes d'essai

L'essai doit être effectué sur trois éprouvettes conditionnées. Une détermination doit être réalisée sur chacune des trois éprouvettes.

Des éprouvettes rectangulaires d'une surface minimale de 100 cm² doivent être utilisées.

10.2 Mode opératoire

La masse de l'éprouvette doit être déterminée avec une précision de $10^{-4} \times$ la masse de l'éprouvette.

Deux mesures de la longueur et de la largeur de chaque éprouvette doivent être réalisées à 0,1 mm près en des points distants d'au moins 12 mm des coins.

L'épaisseur doit être déterminée par huit mesures (voir 5.1) et la valeur moyenne des mesures calculée.

10.3 Résultats

La masse volumique apparente ρ (masse sur volume) doit être exprimée en g/cm³.

$$\rho = \frac{m}{s \times l \times w} \times 10^3$$

où

m est la masse, en g;

s est la moyenne des huit mesures de l'épaisseur (en mm);

l est la moyenne des deux mesures de la longueur (en mm);

w est la moyenne des deux mesures de la largeur (en mm)

Les trois valeurs doivent être reportées. Le résultat doit être la valeur médiane.

11 Teneur en humidité

La teneur en humidité du matériau en l'état de réception doit être mesurée conformément à l'ISO 287.

Trois éprouvettes dont la masse est au moins égale à 50 g, dont les dimensions sont de préférence de 100 mm × 25 mm × épaisseur d'origine en l'état de réception, doivent être pesées avec une précision de ± 1 mg, puis séchées et refroidies conformément aux indications de l'Article 3, puis repesées avec la même précision que précédemment. La teneur en humidité est la perte de masse exprimée en pourcentage de la masse d'origine. La valeur médiane des trois mesures doit être prise comme résultat, les deux autres valeurs doivent être consignées.

12 Retrait dans l'air après séchage

12.1 Eprouvettes d'essai

L'essai porte sur six éprouvettes d'environ 50 mm × 300 mm, trois devant être prélevées dans le sens machine A et trois dans le sens transversal B (voir Figure 1).

12.2 Mode opératoire

Les éprouvettes ayant été conditionnées conformément aux indications de l'Article 3, leur longueur et leur épaisseur doivent être mesurées à raison d'une seule mesure par dimension, l'épaisseur devant être prise à au moins 20 mm des bords.

Les éprouvettes doivent alors être séchées conformément aux indications de l'Article 4.

Après refroidissement sous dessiccateur à la température du local, la longueur et l'épaisseur doivent être de nouveau mesurées. La longueur avant et après le séchage doit être mesurée à $\pm 0,05$ mm près, de même que l'épaisseur à $\pm 0,01$ mm près.

12.3 Résultats

Le retrait en longueur doit être calculé dans les sens A et B comme la variation, exprimée en pourcentage, des dimensions par rapport aux mesures d'origine effectuées sur les éprouvettes conditionnées. Pour chacun de ces sens, la valeur médiane doit être prise comme résultat, les deux autres valeurs devant être consignées. Pour le retrait en épaisseur, la valeur médiane doit constituer le résultat recherché, les valeurs minimale et maximale devant être consignées.

13 Absorption d'huile

13.1 Eprouvettes d'essai

L'essai doit être réalisé sur trois éprouvettes de 100 mm × 25 mm et dont l'épaisseur est celle du matériau soumis à essai.

13.2 Mode opératoire

Les éprouvettes doivent être séchées conformément à l'Article 4, Méthode A, et la masse déterminée au milligramme près.

Les éprouvettes doivent être placées dans une enceinte à vide, la température élevée à 90 °C ± 2 K et la pression inférieure ou égale à 1 kPa.

La température et la pression doivent être maintenues pendant 1 h. Une huile répondant aux exigences de la classe II de la CEI 60296, préchauffée à 90 °C ± 2 K, doit alors être introduite suffisamment lentement pour que la pression soit maintenue inférieure ou égale à 2,5 kPa.

Quand l'éprouvette est complètement immergée, en utilisant un lest si besoin est, la pression doit être augmentée lentement jusqu'à la pression atmosphérique et le chauffage arrêté. Les éprouvettes doivent être laissées dans l'huile pendant (24 ± 1) h. Les éprouvettes doivent ensuite être retirées de l'huile en absorbant l'excès d'huile avec du buvard. Les éprouvettes propres doivent alors être pesées avec la même précision qu'auparavant pour déterminer la masse de l'huile absorbée.

13.3 Résultats

Les résultats doivent être exprimés en pourcentage de la masse d'huile absorbée par rapport à la masse d'origine des éprouvettes séchées. Le résultat doit être la valeur médiane des trois mesures, les deux autres devant être consignées.

14 Teneur en cendre

14.1 Mode opératoire

La quantité du résidu subsistant après incinération du matériau à l'état de livraison doit être déterminée selon la méthode décrite dans l'ISO 2144. La masse des éprouvettes doit être de 5 g au moins. Elles doivent être choisies de manière à obtenir un rapport colle/cellulose représentatif du carton soumis à essai. L'essai doit porter sur trois mesures.

14.2 Résultats

Le résultat doit être la valeur médiane obtenue à partir de la masse du matériau séché à l'étuve (calculée à partir de la détermination de la teneur en humidité conformément aux indications de 9.3); la valeur la plus élevée et la valeur la plus basse sont consignées.

15 Contamination des diélectriques liquides

15.1 Appareillage

- Une cellule de conductivité selon les exigences de la CEI 60247.
- Une cellule pour la détermination du facteur de dissipation diélectrique des liquides conformément à la CEI 60250.
- Un récipient en verre neutre ou borosilicaté pour contenir l'huile, d'un volume d'au moins 1 l dans lequel une atmosphère d'azote sec peut être maintenue au-dessus de l'huile.

- Une étuve à ventilation forcée pouvant être réglée à $100\text{ °C} \pm 1\text{ K}$.
- Des pinces métalliques propres.
- De l'huile sèche (classe II de la CEI 60296) dont la valeur de neutralisation et le facteur de dissipation à 90 °C entre 48 Hz à 62 Hz ont été déterminés.

NOTE Les cellules représentées aux Figures 2 et 3 de la CEI 60250 sont également utilisables pour les mesures de résistivité et sont décrites comme telles dans la CEI 60247.

15.2 Eprouvettes d'essai

Une quantité suffisante de matériau découpé en morceaux d'épaisseur inférieure à 1 mm, dont la surface est voisine de 1 cm^2 et qui a été séchée à $105\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ pendant au moins 16 h. Les échantillons doivent être manipulés avec des pinces métalliques propres.

15.3 Mode opératoire

$(75 \pm 0,1)$ g d'échantillon doivent être immergés dans le récipient dans $(750 \pm 5)\text{ cm}^3$ d'huile. Il est recommandé de contrôler auparavant la propreté du récipient décrit ci-dessus. Une atmosphère d'azote sec doit être maintenue au-dessus de l'huile. Le récipient contenant l'huile avec l'échantillon ainsi qu'un récipient identique destiné à servir de témoin contenant de l'huile seule doivent être chauffés à $100\text{ °C} \pm 1\text{ K}$ pendant (168 ± 4) h.

Au bout de cette période de chauffage, la valeur de l'indice de neutralisation conformément à la CEI 60201-1, la teneur en boue conformément à la CEI 61125 et le facteur de dissipation conformément à la CEI 60247 de l'huile contenant l'échantillon et de l'huile témoin à $90\text{ °C} \pm 1\text{ K}$ entre 48 Hz et 62 Hz doivent être mesurés.

15.4 Résultats

Le résultat doit être la différence entre les deux valeurs obtenues.

16 Conductivité de l'extrait aqueux

16.1 Mode opératoire

Cet essai doit être effectué selon les dispositions de la CEI 60641-2, les échantillons devant être prélevés de manière à obtenir un rapport colle/cellulose représentatif de l'épaisseur totale du carton. Si des bandes sont utilisées, il convient qu'elles ne dépassent pas $20\text{ mm} \times 3\text{ mm}$, mais il est possible de prendre des morceaux plus petits à condition que le rapport colle/cellulose soit conservé.

16.2 Résultats

La conductivité doit être exprimée en millisiemens par mètre (mS/m).

17 pH de l'extrait aqueux

Cet essai doit être effectué selon les dispositions de la CEI 60641-2 sur un extrait préparé comme indiqué en 16.1.

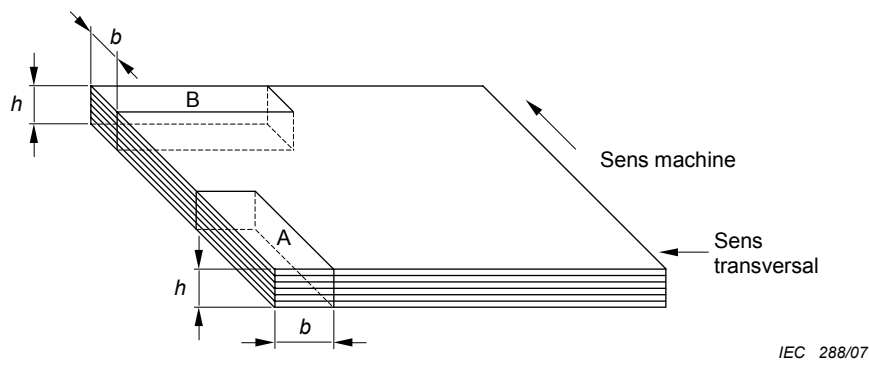


Figure 1 – Position de l'éprouvette d'essai en fonction de la longueur, de la largeur et de l'épaisseur de la feuille

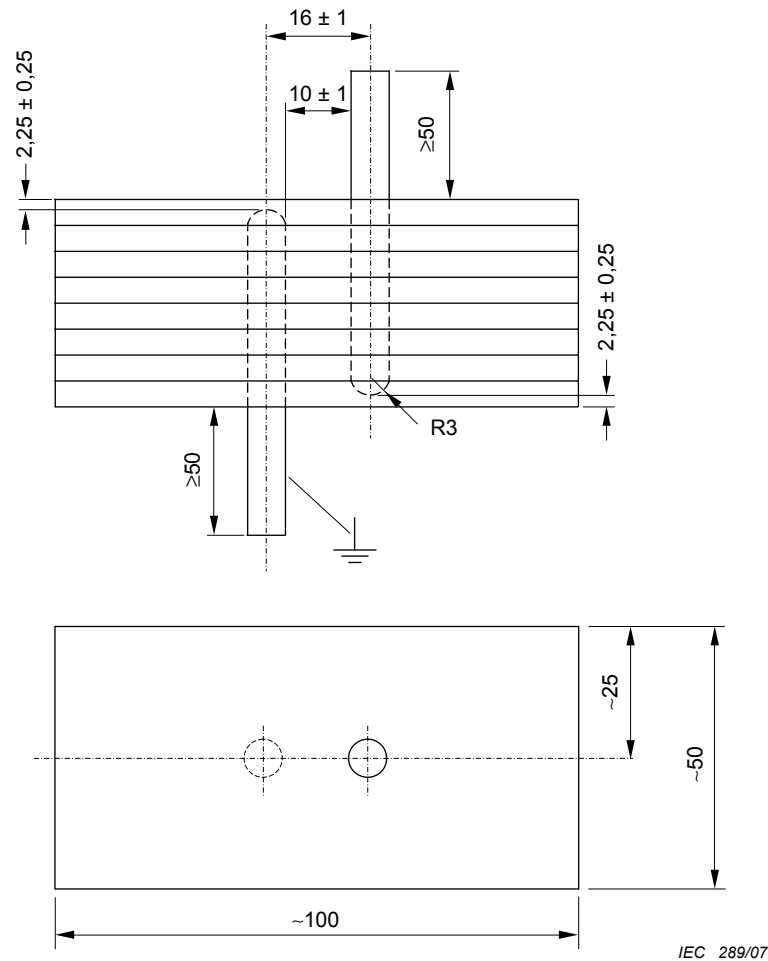
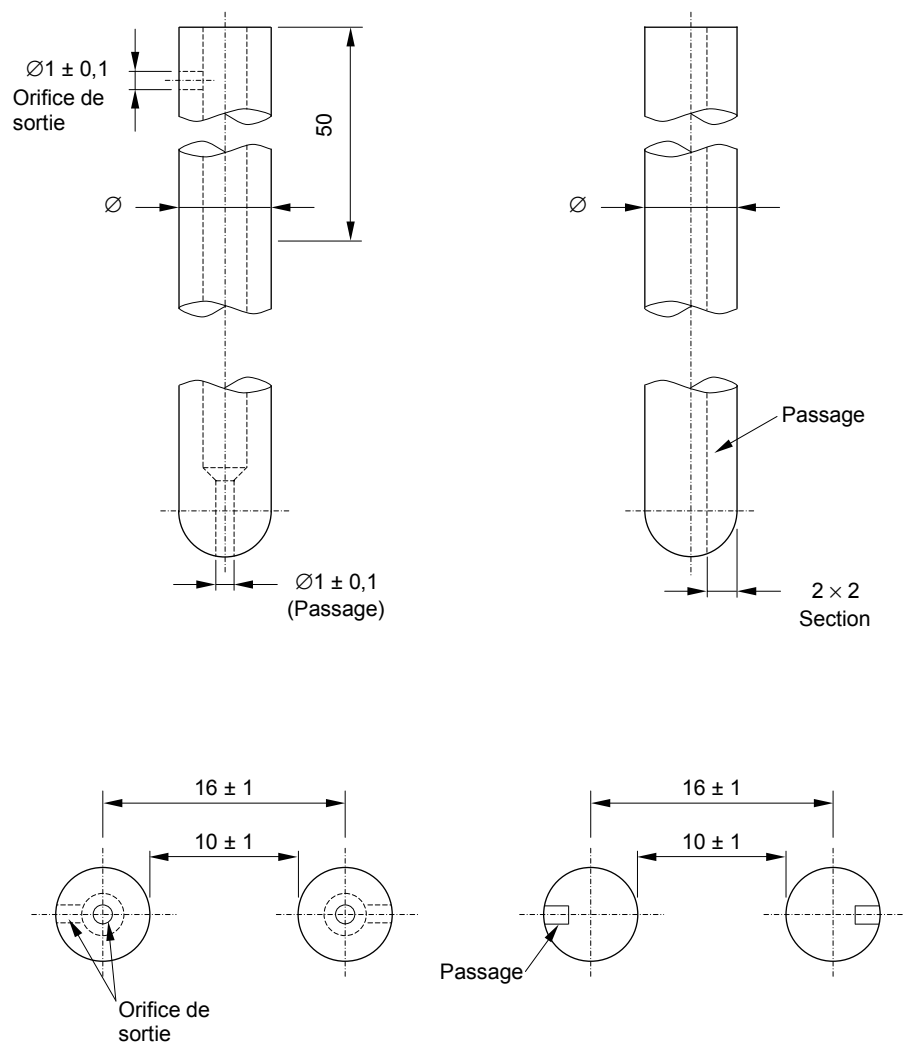


Figure 2 – Taille des éprouvettes d'essai et disposition des électrodes pour l'essai de rigidité diélectrique le long des lignes de colle (rigidité diélectrique sur l'arête)



Figures 3 et 4 – Autres formes d'électrodes munies d'un orifice de sortie

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch