

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Electric strength of insulating materials – Test methods –
Part 1: Tests at power frequencies**

**Rigidité diélectrique des matériaux isolants – Méthodes d'essai –
Partie 1: Essais aux fréquences industrielles**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2013 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

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

Useful links:

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables you to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...).

It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) on-line.

Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: csc@iec.ch.

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.

Liens utiles:

Recherche de publications CEI - www.iec.ch/searchpub

La recherche avancée vous permet de trouver des publications CEI en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...).

Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

Just Published CEI - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) en ligne.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: csc@iec.ch.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Electric strength of insulating materials – Test methods –
Part 1: Tests at power frequencies**

**Rigidité diélectrique des matériaux isolants – Méthodes d'essai –
Partie 1: Essais aux fréquences industrielles**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

U

ICS 17.220.99; 29.035.01

ISBN 978-2-83220-696-6

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

FOREWORD.....	4
1 Scope.....	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	7
4 Significance of the test.....	7
5 Electrodes and specimens.....	8
5.1 General.....	8
5.2 Tests perpendicular to the surface of non-laminated materials and normal to laminate of laminated materials	8
5.2.1 Boards and sheet materials, including pressboards, papers, fabrics and films.....	8
5.2.2 Tapes, films and narrow strips	9
5.2.3 Flexible tubing and sleeving	9
5.2.4 Rigid tubes (having an internal diameter up to and including 100 mm).....	9
5.2.5 Tubes and hollow cylinders (having an internal diameter greater than 100 mm).....	10
5.2.6 Cast and moulded materials	10
5.2.7 Shaped solid pieces	11
5.2.8 Varnishes	11
5.2.9 Filling compounds.....	11
5.3 Tests parallel to the surface of non-laminated materials and parallel to the laminate of laminated materials	11
5.3.1 General	11
5.3.2 Parallel plate electrodes	11
5.3.3 Taper pin electrodes.....	12
5.3.4 Parallel cylindrical electrodes	12
5.4 Test specimens	12
5.5 Distance between electrodes.....	12
6 Conditioning before tests.....	13
7 Surrounding medium	13
7.1 General.....	13
7.2 Tests in air at elevated temperature	13
7.3 Tests in liquids	13
7.4 Tests in solid materials.....	14
8 Electrical apparatus.....	14
8.1 Voltage source	14
8.2 Voltage measurement.....	14
9 Procedure.....	15
10 Mode of increase of voltage.....	15
10.1 Short-time (rapid-rise) test.....	15
10.2 20 s step-by-step test.....	16
10.3 Slow rate-of-rise test (120 s... 240 s).....	16
10.4 60 s step-by-step test.....	17
10.5 Very slow rate-of-rise test (300 s... 600 s)	17
10.6 Proof tests.....	17
11 Criterion of breakdown	17
12 Number of tests	18

13 Report	18
Annex A (informative) Treatment of experimental data	25
Bibliography	26
Figure 1 – Electrode arrangements for tests on boards and sheets perpendicular to the surface	19
Figure 2 – Typical example of electrode arrangement for tests on tapes perpendicular to the surface (see 5.2.2)	20
Figure 3 – Electrode arrangement for tests perpendicular to the surface on tubes and cylinders with internal diameter greater than 100 mm	20
Figure 4 – Electrode arrangement for tests on casting and moulding materials (diameter of the spherical electrodes: $d = (20 \pm 0,1)$ mm)	21
Figure 5 – Electrode arrangement for test on shaped insulating parts (see 5.2.7)	21
Figure 6 – Electrode arrangement for tests parallel to the surface (and along the laminae, if present)	22
Figure 7 – Electrode arrangement for tests parallel to the surface (and along the laminae if present)	23
Figure 8 – Arrangement for tests parallel to the laminae for boards more than 15 mm thick with parallel cylindrical electrodes (see 5.3.4)	24
Table 1 – Increments of voltage increase (kilovolts, peak / $\sqrt{2}$)	16

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ELECTRIC STRENGTH OF INSULATING MATERIALS – TEST METHODS –

Part 1: Tests at power frequencies

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 itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 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 60243-1 has been prepared by technical committee 112: Evaluation and qualification of electrical insulating materials and systems.

This third edition cancels and replaces the second edition, published in 1998, and constitutes a technical revision.

The significant technical change with respect to the previous edition is that the current version now includes an option for testing elastomeric materials.

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

FDIS	Report on voting
112/237/FDIS	112/248/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 2.

A list of all the parts in the IEC 60243 series, published under the general title *Electric strength of insulating materials – Test methods*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability 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.

ELECTRIC STRENGTH OF INSULATING MATERIALS – TEST METHODS –

Part 1: Tests at power frequencies

1 Scope

This part of IEC 60243 provides test methods for the determination of short-time electric strength of solid insulating materials at power frequencies between 48 Hz and 62 Hz.

This standard does not cover the testing of liquids and gases, although these are specified and used as impregnates or surrounding media for the solid insulating materials being tested.

NOTE Methods for the determination of breakdown voltages along the surfaces of solid insulating materials are included.

2 Normative references

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

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

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

IEC 60455-2, *Specification for solventless polymerizable resinous compounds used for electrical insulation – Part 2: Methods of test*

IEC 60464-2, *Varnishes used for electrical insulation – Part 2: Methods of test*

IEC 60684-2, *Flexible insulating sleeving – Part 2: Methods of test*

IEC 60836, *Specifications for unused silicone insulating liquids for electrotechnical purposes*

IEC 61099, *Insulating liquids – Specifications for unused synthetic organic esters for electrical purposes*

ISO 293, *Plastics – Compression moulding of test specimens of thermoplastic materials*

ISO 294-1, *Plastics – Injection moulding of test specimens of thermoplastic materials – Part 1: General principles, and moulding of multipurpose and bar test specimens*

ISO 294-3, *Plastics – Injection moulding of test specimens of thermoplastic materials – Part 3: Small plates*

ISO 295, *Plastics – Compression moulding of test specimens of thermosetting materials*

ISO 10724 (all parts), *Plastics – Injection moulding of test specimens of thermosetting powder moulding compounds (PMCs)*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

3.1

electric breakdown

severe loss of the insulating properties of test specimens while exposed to electric stress, which causes the current in the test circuit to operate an appropriate circuit-breaker

Note 1 to entry: Breakdown is often caused by partial discharges in the gas or liquid medium surrounding the test specimen and the electrodes which puncture the specimen beyond the periphery of the smaller electrode (or of both electrodes, if of equal diameter).

3.2

flashover

loss of the insulating properties of the gas or liquid medium surrounding a test specimen and electrodes while exposed to electric stress, which causes the current in the test circuit to operate an appropriate circuit-breaker

Note 1 to entry: The presence of carbonized channels or punctures through the specimen distinguishes tests where breakdown occurred, from others where flashover occurred.

3.3

breakdown voltage

3.3.1

< tests with continuously rising voltage > voltage at which a specimen suffers breakdown under the prescribed test conditions

3.3.2

< step-by-step tests > highest voltage which a specimen withstands without breakdown for the duration of the time at that voltage level

3.4

electric strength

quotient of the breakdown voltage and the distance between the electrodes between which the voltage is applied under the prescribed test conditions

Note 1 to entry: The distance between the test electrodes is determined as specified in 5.5, unless otherwise specified.

4 Significance of the test

Electric strength test results obtained in accordance with this standard are useful for detecting changes or deviations from normal characteristics resulting from processing variables, ageing conditions or other manufacturing or environmental situations. However, they are not intended for use in evaluating the behaviour of insulating materials in an actual application.

Measured values of the electric strength of a material may be affected by many factors, including:

a) Condition of test specimens

- 1) the thickness and homogeneity of the specimen and the presence of mechanical strain;
- 2) previous conditioning of the specimens, in particular drying and impregnation procedures;

- 3) the presence of gaseous inclusions, moisture or other contamination.
- b) Test conditions
- 1) the frequency, waveform and rate of rise or time of application of the voltage;
 - 2) the ambient temperature, pressure and humidity;
 - 3) the configuration, the dimensions, and thermal conductivity of the test electrodes;
 - 4) the electrical and thermal characteristics of the surrounding medium.

The effects of all these factors shall be considered when investigating materials for which no experience exists. This standard defines particular conditions which give rapid discrimination between materials and which can be used for quality control and similar purposes.

The results given by different methods are not directly comparable but each may provide information on relative electric strengths of materials. The electric strength of most materials decreases as the thickness of the specimen between the electrodes increases and as the time of voltage application increases.

The measured electric strength of most materials is significantly affected by the intensity and the duration of surface discharges prior to breakdown. For designs which are free from partial discharges up to the test voltage, it is very important to know the electric strength without discharges prior to breakdown. However, the methods in this standard are generally not suitable for providing this information.

Materials with high electric strength will not necessarily resist long-term degradation processes such as heat, erosion or chemical deterioration by partial discharges, or electrochemical deterioration in the presence of moisture, all of which may cause failure in service at much lower stress.

5 Electrodes and specimens

5.1 General

The metal electrodes shall be maintained smooth, clean and free from defects at all times. Electrode arrangements for tests on boards and sheets perpendicular to the surface are shown in Figure 1.

NOTE This maintenance becomes more important when thin specimens are being tested. Stainless steel electrodes e.g. minimize electrode damage at breakdown.

The leads to the electrodes shall not tilt or otherwise move the electrodes, nor affect the pressure on the specimen, nor appreciably affect the electric field configuration in the neighbourhood of the specimen.

When very thin films (for example $<5 \mu\text{m}$ thick) are to be tested, the standards for those materials shall specify the electrodes and special procedures for handling and specimen preparation.

5.2 Tests perpendicular to the surface of non-laminated materials and normal to laminate of laminated materials

5.2.1 Boards and sheet materials, including pressboards, papers, fabrics and films

5.2.1.1 Unequal electrodes

The electrodes shall consist of two metal cylinders with the edges rounded to give a radius of $(3 \pm 0,2)$ mm. One electrode shall be (25 ± 1) mm in diameter and approximately 25 mm high. The other electrode shall be (75 ± 1) mm in diameter and approximately 15 mm high. These two electrodes shall be arranged coaxially within 2 mm as in Figure 1a.

NOTE Radii for surface not in contact with the electrode are not critical with respect to test results but should avoid partial discharges in the surrounding medium.

5.2.1.2 Equal diameter electrodes

If a fixture is employed, which accurately aligns upper and lower electrodes within 1,0 mm, the diameter of the lower electrode may be reduced to (25 ± 1) mm, the diameters of the two electrodes differing by no more than 0,2 mm. The results obtained will not necessarily be the same as those obtained with the unequal electrodes of 5.2.1.1.

5.2.1.3 Sphere and plate electrodes

The electrodes shall consist of a metal sphere and a metal plate (see Figure 1c). The upper electrode shall be a sphere of (20 ± 1) mm in diameter and the lower one is a metal plate of (25 ± 1) mm in diameter with the edge rounded to give a radius of 2.5 mm. The discrepancy of the central axes between upper and lower electrodes shall be within 1 mm.

5.2.1.4 Tests on thick sample

When specified, boards and sheets over 3 mm thick shall be reduced by machining on one side to $(3 \pm 0,2)$ mm and then tested with the high-potential electrode on the non-machined surface.

When it is necessary in order to avoid flashover or because of limitations of available equipment, specimens may be prepared by machining to smaller thicknesses as needed.

5.2.2 Tapes, films and narrow strips

The electrodes shall consist of two metal rods, each $(6 \pm 0,1)$ mm in diameter, mounted vertically one above the other in a jig so that the specimen is held between the faces of the ends of the rods.

The upper and lower electrodes shall be coaxial within 0,1 mm. The ends of the electrodes shall form planes at right angles to their axes, with edge radii of $(1 \pm 0,2)$ mm. The upper electrode shall have a mass of (50 ± 2) g and shall move freely in the vertical direction in the jig.

Figure 2 shows an appropriate arrangement. If specimens are to be tested while extended, they shall be clamped in a frame holding them in the required position relative to the assembly shown in Figure 2. Wrapping one end of the specimen around a rotatable rod is one convenient way of achieving the required extension.

To prevent flashover around the edges of narrow tapes, the test specimen may be clamped using strips of film or other thin dielectric material overlapping the edges of the tape. Alternatively, gaskets that surround the electrodes may be used, provided that there is an annular space between electrode and gasket of 1 mm to 2 mm. The distance between the bottom electrode and the specimen (before the top electrode comes in contact with the specimen) shall be less than 0,1 mm.

NOTE For testing films see IEC 60674-2.

5.2.3 Flexible tubing and sleeving

To be tested according to IEC 60684-2.

5.2.4 Rigid tubes (having an internal diameter up to and including 100 mm)

The outer electrode shall consist of a band of metal foil (25 ± 1) mm wide. The inner electrode is a closely fitting internal conductor, e.g. rod, tube, metal foil or a packing of metal spheres

0,75 mm to 2 mm in diameter, making good contact with the inner surface. In each case, the ends of the inner electrode shall extend for at least 25 mm beyond the ends of the outer electrode.

Where no adverse effect will result, petroleum jelly may be used for attaching the foil to the inner and outer surfaces.

5.2.5 Tubes and hollow cylinders (having an internal diameter greater than 100 mm)

The outer electrode shall be a band of metal foil (75 ± 1) mm wide and the inner electrode, a disk of metal foil (25 ± 1) mm in diameter, flexible enough to conform with the curvature of the cylinder. The arrangement is shown in Figure 3.

5.2.6 Cast and moulded materials

5.2.6.1 Cast materials

Make test pieces and test according to IEC 60455-2.

5.2.6.2 Moulded materials

5.2.6.2.1 General

Use a pair of spherical electrodes, each ($20 \pm 0,1$) mm in diameter, arranged on a common axis which is normal to the plane of the test specimen (see Figure 4) or, in case of elastomers, unequal electrodes according to 5.2.1.3 (see Figure 1c) .

5.2.6.2.2 Thermosets

Use test specimens of ($1,0 \pm 0,1$) mm thickness, compression moulded in accordance with ISO 295; or injection moulded in accordance with the ISO 10724 series with lateral dimensions which are sufficient to prevent flashover (see 5.4).

If it is not possible to use specimens of ($1,0 \pm 0,1$) mm thickness, specimens with a thickness of ($2,0 \pm 0,2$) mm shall be used.

5.2.6.2.3 Thermoplastics

Use test specimens injection moulded in accordance with ISO 294-1 and ISO 294-3, ISO mould type D1 60 mm \times 60 mm \times 1 mm. If these dimensions are insufficient to prevent flashover (see 5.4) or if compression moulded test specimens are stipulated by the standard for the relevant material, use plates at least 100 mm in diameter and ($1,0 \pm 0,1$) mm thick, compression moulded in accordance with ISO 293.

For the conditions of injection or compression moulding, see the standard for the relevant material. If there is no applicable material standard, the conditions shall be agreed between the interested parties.

5.2.6.2.4 Elastomers

Use test specimens of ($1,0 \pm 0,1$) mm thickness with sufficient lateral dimensions to prevent flashover (see 5.4), moulded under standard conditions. If there is no effective standard the processing conditions shall be agreed between the interested parties.

As electrode arrangement, unequal electrodes according 5.2.1.3 (see Figure 1c) shall be used. In the case of elastomers of low hardness, e.g. silicone rubbers, a suitable casting material shall be used as embedding material or surrounding medium, respectively.

5.2.7 Shaped solid pieces

For shaped insulating specimens which do not have sufficient contact with the electrode's flat contact surface, the opposing identical spherical electrodes shall be used (see Figure 5). Commonly used electrodes for tests of this nature have diameters of 12,5 mm or 20 mm.

5.2.8 Varnishes

To be tested according to IEC 60464-2.

5.2.9 Filling compounds

The electrodes shall consist of two metal spheres, each 12,5 mm to 13 mm in diameter, arranged horizontally along the same axis ($1 \pm 0,1$) mm apart, unless otherwise specified, and embedded in the compound. Care shall be taken to avoid cavities, particularly between the electrodes. As values obtained with the different electrode spacing are not directly comparable, the gap length shall be detailed in the specification for the compound and mentioned in the test report.

5.3 Tests parallel to the surface of non-laminated materials and parallel to the laminate of laminated materials

5.3.1 General

If it is not necessary to differentiate between failure by puncture of the specimen and failure across its surface, the electrodes of 5.3.2 or 5.3.3 may be used, those of 5.3.2 being preferred.

When the prevention of surface failure is required, the electrodes of 5.3.3 shall be used.

5.3.2 Parallel plate electrodes

5.3.2.1 Boards and sheets

For tests on boards and sheets, the test specimen shall be of the thickness of the material to be tested and rectangular, (100 ± 2) mm long and ($25 \pm 0,2$) mm wide. The long edges shall be cut as parallel planes at right angles to the surface of the material. The test specimen is placed with the 25 mm width between parallel metal plates, not less than 10 mm thick, forming the electrodes between which the voltage shall be applied. For thin materials, two or three test specimens are used suitably placed (i.e. with their long edges at a convenient angle) to support the upper electrode. The electrodes shall be of sufficient size to overlap the edges of the test specimens by not less than 15 mm and care shall be taken to ensure good contact over the whole area of those edges. The edges of the electrodes shall be suitably rounded (3 mm to 5 mm) to avoid breakdown from edge to edge of the electrodes (see Figure 6).

If breakdown cannot be obtained with available equipment, the width of the specimens may be reduced to ($15 \pm 0,2$) mm or ($10 \pm 0,2$) mm. Such reduction of specimen width shall be specifically recorded in the test report.

This type of electrode is suitable only for tests on rigid materials at least 1,5 mm thick.

5.3.2.2 Tubes and cylinders

For tests on tubes and cylinders, the test specimen shall be a complete ring or a 100 mm circumferential portion of a ring of ($25 \pm 0,2$) mm axial length. Both edges of the specimen shall be finished as parallel planes at right angles to the axis of the tube or cylinder. The specimen is tested between parallel plates as described in 5.3.2.1 for boards and sheets. Where necessary to support the upper electrode, two or three specimens are used. The electrodes shall be of sufficient size to overlap the edges of the specimens by not less than

15 mm and care shall be taken to ensure good contact over the whole area of the edges of the specimens.

5.3.3 Taper pin electrodes

Two parallel holes are drilled perpendicularly to the surface, with centres (25 ± 1) mm apart and of such a diameter that, after reaming with a reamer having a taper of approximately 2 %, the diameter of each hole at the larger end is not less than 4,5 mm and not greater than 5,5 mm.

The holes shall be drilled completely through the specimen or, in the case of large tubes, through one wall only, and shall be reamed throughout their full length.

When the specimens are drilled and reamed, the material adjacent to the holes shall not be damaged, e.g. split, broken or charred, in any way.

The taper pins used as electrodes shall have a taper of $(2 \pm 0,02)$ % and shall be pressed, not hammered into the holes so that they fit tightly and extend on each side of the test specimen by not less than 2 mm (see Figure 7, 7a and 7b).

This type of electrode is suitable only for tests on rigid materials at least 1,5 mm thick.

5.3.4 Parallel cylindrical electrodes

For tests on specimens of high electric strength and which are more than 15 mm thick, specimens $100 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ shall be cut and two holes drilled as shown in Figure 8 so that each is not more than 0,1 mm greater in diameter than each cylindrical electrode which shall be $(6 \pm 0,1)$ mm in diameter and have hemispherical ends. The base of each hole is hemispherical to mate with the end of the electrode, so that the gap between the end of the electrode and the base of the hole will not exceed 0,05 mm at any point. If not otherwise specified in the material specification, the holes shall be (10 ± 1) mm apart, edge-to-edge, throughout their length and extend to within $(2,25 \pm 0,25)$ mm of the surface opposite that through which they are drilled. Two alternative forms of vented electrodes are shown in Figure 8. When electrodes with slots are used, these slots shall be diametrically opposed to the gap between the electrodes.

5.4 Test specimens

In addition to the information concerning specimens given in the preceding subclauses, the following general points shall be noted.

In the preparation of test specimens from solid materials, care shall be taken that the surfaces in contact with the electrodes are parallel and as flat and smooth as the material allows.

For tests made perpendicularly to the surface of the material, test specimens need only be of sufficient area to prevent flashover under the conditions of test.

In tests made perpendicularly to the surface of the material, the results on specimens of different thicknesses are not directly comparable (see Clause 4).

5.5 Distance between electrodes

The value to be used in calculating the electric strength shall be one of the following, as specified for the material under test:

- a) nominal thickness or distance between electrodes (use this value unless otherwise specified);

- b) average thickness of the test specimen or distance between electrodes for tests parallel to the surface;
- c) thickness or distance between electrodes measured immediately adjacent to the breakdown on each test specimen.

6 Conditioning before tests

The electric strength of insulating materials varies with temperature and moisture content. Where a specification is available for the material to be tested, this shall be followed. Otherwise, specimens shall be conditioned for not less than 24 h at $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$, $(50 \pm 5) \%$ relative humidity, that is, the standard ambient atmosphere of IEC 60212, unless other conditions are agreed upon.

7 Surrounding medium

7.1 General

Materials shall be tested in a surrounding medium selected to prevent flashover. Suitable materials may be transformer oil according to IEC 60296, silicone fluid according to IEC 60836 or ester fluid according to IEC 61099 or appropriate casting material. The surrounding medium shall not have significant interaction with the material under test, e.g. by causing swelling, during the time of testing.

Specimens having relatively low breakdown values may be tested in air, particularly if the tests are to be made at elevated temperature. Even at moderate test voltages, discharges at the edges of the electrodes may have significant effects on the test values.

If it is intended that the tests evaluate the behaviour of a material in another medium, that medium may be used.

Select a medium which has minimum deleterious effect on the material under test.

The effect of the ambient medium on the results may be great, particularly in the case of absorbent materials such as paper and pressboard, and it is essential that procedures for specimen preparation define fully all necessary steps (e.g. drying and impregnation), and the condition of the ambient medium during test.

Sufficient time shall be allowed for the specimen and the electrodes to attain the required temperature, but some materials may be affected by prolonged exposure to high temperatures.

7.2 Tests in air at elevated temperature

Tests in air at elevated temperature may be made in any well-designed oven of sufficient size to accommodate the test specimen and the electrodes without flashover occurring during the tests. Some means of circulating the air within the oven shall be provided so that a substantially uniform temperature within $\pm 2 \text{ K}$ of the specified temperature is maintained around the test specimen, and with a thermometer, thermocouple or other means for measuring the temperature as near the point of test as practicable.

7.3 Tests in liquids

When tests are conducted in an insulating liquid, it is necessary to ensure adequate electric strength of the liquid to avoid flashover. Specimens tested in liquids which have a higher relative permittivity than transformer oil may show a higher dielectric strength than when tested in transformer oil. Contamination which reduces the electric strength of the oil or other liquid may also increase the measured electric strength of test specimens.

Tests at elevated temperature may be made either in a container of liquid in an oven (see 7.1) or in a thermostatically controlled bath using the insulating liquid for heat transfer. In this case, suitable means for circulating the liquid, so that the temperature is substantially uniform and maintained within ± 2 K of the specified temperature around the test specimen, shall be provided.

7.4 Tests in solid materials

For plate-shaped specimens of soft elastomers, a suitable casting material shall be used, which preferably cures at room temperature and has a permittivity similar to the tested elastomer. During the casting, voids shall be avoided, particularly in the volume between the cylindrical electrode and test plate by a vacuum treatment. The casting material shall have a sufficient adhesion at the electrodes and the surface of the test plate.

For silicone elastomers this can be silicone rubber of low viscosity (room temperature vulcanizing two components)

8 Electrical apparatus

8.1 Voltage source

The test voltage shall be obtained from a step-up transformer supplied from a variable sinusoidal low-voltage source. The transformer, its voltage source and the associated controls shall have the following properties.

The ratio of crest to root-mean-square (r.m.s.) test voltage shall be equal to $\sqrt{2} \pm 5\%$ (1,34...1,48), with the test specimen in the circuit, at all voltages up to and including the breakdown voltage.

The power rating of the source shall be sufficient to meet the requirements above until electric breakdown occurs. For most materials, using electrodes as recommended, an output current capacity of 40 mA is usually adequate. The power rating for most tests will vary from 0,5 kVA, for testing low-capacitance specimens at voltages up to 10 kV, to 5 kVA for voltages up to 100 kV.

The controls on the variable low-voltage source shall be capable of varying the test voltage smoothly, uniformly and without overshoots. When applying voltage in accordance with Clause 8, the incremental increase produced, e.g. by a variable autotransformer, shall not exceed 2 % of the expected breakdown voltage.

Motor-driven controls are preferable for making short-time or rapid-rise tests.

To protect the voltage source from damage, it shall be equipped with a device which disconnects the power supply within a few cycles on breakdown of the specimen. It may consist of a current-sensitive element in the HV supply to the electrodes.

To restrict damage by current or voltage surges at breakdown, it is desirable to include a resistor with a suitable value in series with the electrodes. The value of the resistor will depend on the damage which can be tolerated on the electrodes.

The use of a very high valued resistor may result in breakdown voltages which are higher than those obtained with a lower valued resistor.

8.2 Voltage measurement

The voltage values are recorded in equivalent r.m.s. values. It is preferable to use a peak-reading voltmeter and divide the reading by $\sqrt{2}$. The overall error of the voltage-measuring

circuit shall not exceed 5 % of the measured value, including the error due to the response time of the voltmeter. The response-time induced error shall not be greater than 1 % of the breakdown voltage at any rate of rise used.

A voltmeter complying with the above requirements shall be used to measure the voltage applied to the electrodes. It shall preferably be connected directly to them, or via a potential divider or a potential transformer. If a potential winding on the step-up transformer is used for measurement, the accuracy of indication of the voltage applied to the electrodes shall be unaffected by the loading of the step-up transformer and the series resistor.

It is desirable for the reading that the maximum applied test voltage be retained on the voltmeter after breakdown so that the breakdown voltage can be accurately read and recorded, but the indicator shall not be sensitive to transients which can occur at breakdown.

9 Procedure

The document calling for the test shall state the following:

- a) specimen to be tested;
- b) method for measurement of specimen thickness (if not nominal);
- c) any treatment or conditioning prior to test;
- d) number of specimens, if other than five;
- e) temperature of test;
- f) surrounding medium;
- g) electrodes to be used;
- h) mode of increase of voltage;
- i) whether the result is to be reported as electric strength or breakdown voltage.

Electrodes complying with Clause 5 shall be applied to the specimen in such a manner that damage to the specimen is avoided. Using apparatus providing a voltage complying with Clause 8, a voltage is applied between the electrodes and increased in accordance with 10.1 to 10.5. It is observed whether specimens suffer breakdown or flashover (see Clause 11).

10 Mode of increase of voltage

10.1 Short-time (rapid-rise) test

The voltage shall be raised from zero at a uniform rate until breakdown occurs.

A rate of rise shall be selected for the material under test which will cause breakdown most commonly to occur between 10 s and 20 s. For materials which differ considerably in their breakdown voltage, some samples may fail outside these limits. It is satisfactory if the majority of breakdowns occur between 10 s and 20 s.

Other rates of voltage rise that meet the breakdown time criteria mentioned above may also be used, when agreed to by all parties.

The rate of rise shall be chosen from the following:

100 V/s; 200 V/s; 500 V/s; 1 000 V/s; 2 000 V/s; 5 000 V/s; etc.

For a broad spectrum of materials, a commonly used rate of rise is 500 V/s. For moulded materials, a rate of rise of 2 000 V/s is recommended to obtain comparable data in accordance with IEC 60296.

For multipoint data presented as a ratio of non-exposed vs exposed specimens (such as long term thermal aging), identical rates of rise shall be used for all specimens from both sets.

10.2 20 s step-by-step test

A voltage at 40 % of the probable short-time breakdown voltage shall be applied to the specimen. If the probable short-time value is not known, it shall be obtained in accordance with the method in 10.1.

If the test specimen withstands this voltage for 20 s without failure, the voltage shall be increased in incremental steps as defined in Table 1. Each increased voltage shall be immediately and successively applied for 20 s until failure occurs.

Table 1 – Increments of voltage increase (kilovolts, peak $/\sqrt{2}$)

When start voltage (kV) is	Increment kV
1,0 or less	10 % of start voltage
Over 1,0 to 2,0	0,1
Over 2,0 to 5,0	0,2
Over 5,0 to 10,0	0,5
Over 10 to 20	1,0
Over 20 to 50	2,0
Over 50 to 100	5,0
Over 100 to 200	10,0
Over 200	20,0

When specified, smaller voltage increments may be used. In such cases, higher starting voltages are permissible, but breakdown shall not occur in less than 120 s.

The increases of voltage shall be made as quickly as possible and without any transient overvoltage, and the time spent in raising the voltage shall be included in the period of 20 s at the higher voltage.

If breakdown occurs in less than six levels from the start of the test, a further five specimens shall be tested, using a lower starting voltage.

The electric strength shall be based on the highest nominal voltage which is withstood for 20 s without breakdown.

10.3 Slow rate-of-rise test (120 s... 240 s)

The voltage shall be raised from 40 % of the probable short-time breakdown voltage at a uniform rate such that breakdown occurs between 120 s and 240 s. For materials which differ considerably in their breakdown voltage, some samples may fail outside these limits. It is satisfactory if the majority of breakdowns occur between 120 s and 240 s. The rate of rise of voltage shall be initially selected from the following:

2 V/s; 5 V/s; 10 V/s; 20 V/s; 50 V/s; 100 V/s; 200 V/s; 500 V/s; 1 000 V/s; etc.

Other rates of voltage rise that meet the breakdown time criteria mentioned above may also be used, when agreed to by all parties.

10.4 60 s step-by-step test

Unless otherwise specified, the test shall be carried out in accordance with 10.2 but with a step duration of 60 s.

10.5 Very slow rate-of-rise test (300 s... 600 s)

Unless otherwise specified, this test is carried out in accordance with 10.3 but with breakdowns occurring between 300 s and 600 s with a rate of rise of voltage selected from the following:

1 V/s; 2 V/s; 5 V/s; 10 V/s; 20 V/s; 50 V/s; 100 V/s; 200 V/s; etc.

NOTE The slow rate-of-rise tests of 120 s...240 s in 10.3, and 300 s...600 s in 10.5 produce approximately the same results as the 20 s (see 10.2) or 60 s (see 10.4) step-by-step tests. They are more convenient than the step-by-step tests when using modern automated equipment and they are included to enable such equipment to be used.

Other rates of voltage rise that meet the breakdown time criteria mentioned above may also be used, when agreed to by all parties.

10.6 Proof tests

When it is required to apply a predetermined proof voltage for the purpose of a proof or withstand test, the voltage shall be raised to the required value as rapidly as possible, consistent with its accurate attainment without any transient overvoltage. This voltage is then maintained at the required value for the duration of the specified time.

11 Criterion of breakdown

Electric breakdown is accompanied by an increase of current flowing in the circuit and by a decrease of voltage across the specimen. The increased current may trip a circuit-breaker or blow a fuse. However, tripping of a circuit-breaker may sometimes be influenced by flashover, specimen charging current, leakage or partial discharge currents, equipment magnetizing current or malfunctioning. It is therefore essential that the circuit-breaker is well coordinated with the characteristics of the test equipment and the material under test otherwise the circuit-breaker may operate without breakdown of the specimen, or fail to operate when breakdown has occurred and thus not provide a positive criterion of breakdown. Even under the best conditions, premature breakdowns in the ambient medium may occur, and observations shall be made to detect them during tests. If breakdowns in the ambient medium are observed, they shall be reported.

For materials for which the sensitivity of the fault-detecting circuit is of particular significance, the standard for that material shall so specify.

Where tests are made perpendicularly to the surface of a material, there is usually no doubt when breakdown has occurred and subsequent visual inspection readily shows the actual breakdown channel, whether this is filled with carbon or not.

If in tests parallel to the surface it is required that failure by puncture and failure across the surface are differentiated (see 5.3), this can be done by examination of the specimen or in some cases by reapplying a voltage less than that of the first apparent breakdown. A convenient practice that has been found is the reapplication of half the breakdown voltage, followed by increasing the voltage until failure is reached by the same procedure as in the first test.

12 Number of tests

Unless otherwise specified, five tests shall be conducted and the electric strength or breakdown voltage determined from the median of the test results. If any test result deviates by more than 15 % from the median, five additional tests shall be made. The electric strength or breakdown voltage shall then be determined from the median of the 10 results.

When tests are made for purposes other than routine quality control, larger numbers of specimens will be necessary depending on the variability of the material and the statistical analysis to be applied.

Refer to Annex A for references which may be useful for determining the number of tests needed and the interpretation of data for other than routine quality control tests.

13 Report

Unless otherwise specified, the report shall include the following:

- a) a complete identification of the material tested, a description of the specimens and their method of preparation;
- b) the median of the electric strengths in kilovolts/millimetres and/or breakdown voltages in kilovolts;
- c) the thickness of each test specimen (see 5.4);
- d) the surrounding medium during the test and its properties;
- e) the electrode system;
- f) the mode of application of the voltage and the frequency;
- g) the individual values of electric strengths in kV/mm and/or breakdown voltage in kV;
- h) the temperature, pressure and humidity during tests in air or other gas; or the temperature of the surrounding medium when this is a liquid;
- i) the conditioning treatment before test;
- j) an indication of the type and position of breakdown.

When the shortest statement of results is required, the first six items and the lowest and highest values shall be included.

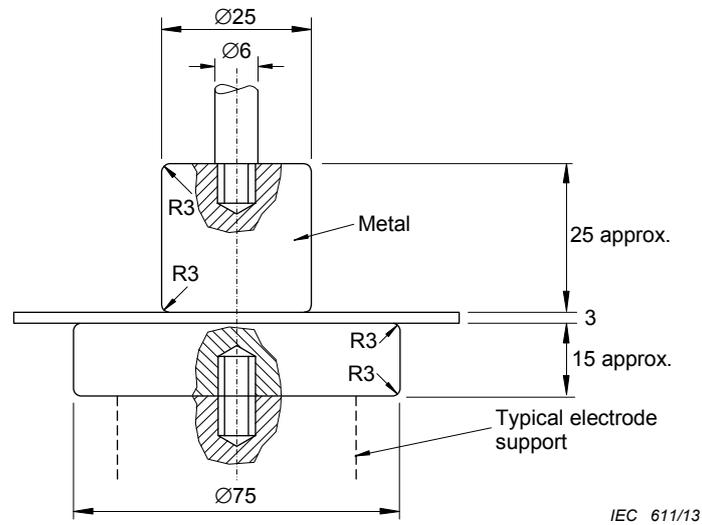


Figure 1a – Unequal electrodes

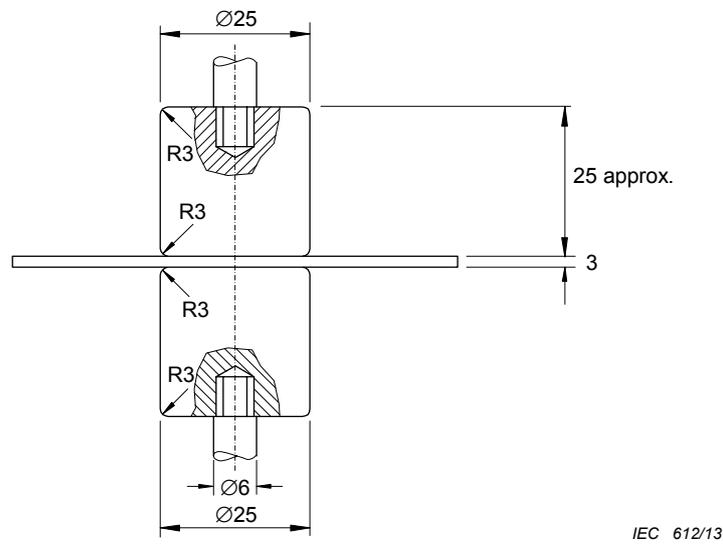


Figure 1b – Equal diameter electrodes

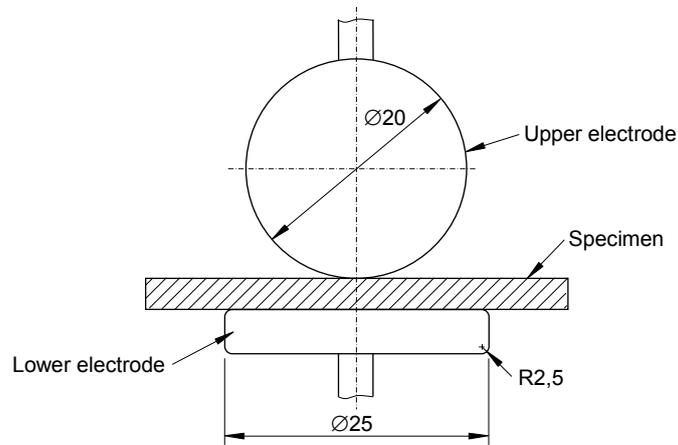
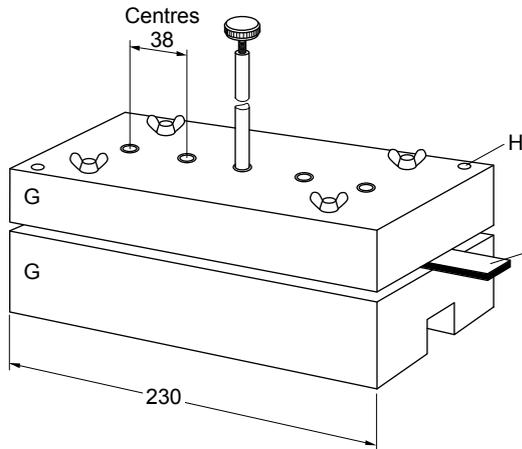


Figure 1c – Sphere and plate electrodes

All tolerances for linear measures ± 1 mm for radius ± 2 mm

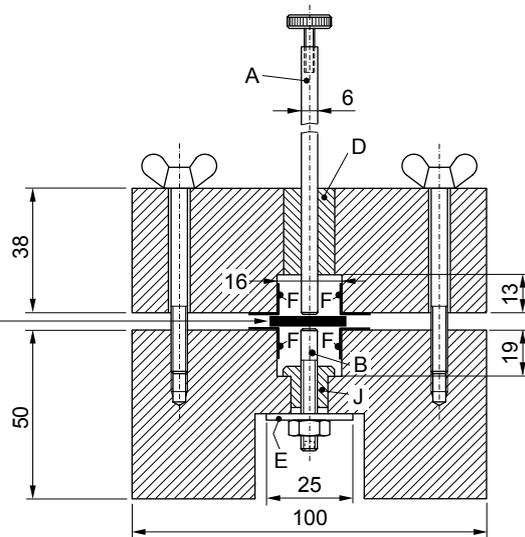
Figure 1 – Electrode arrangements for tests on boards and sheets perpendicular to the surface

Dimensions in millimetres



IEC 614/13

Figure 2a – General arrangement of apparatus



IEC 615/13

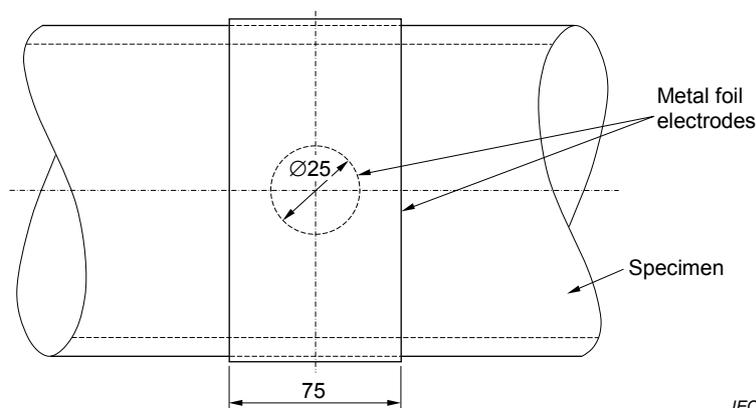
Figure 2b – Section of apparatus through electrodes with top slightly raised

Key

- A upper electrode to be an easy fit in bush D
- B lower electrode
- C specimen under test
- D brass bush with inside diameter just sufficient to clear 6 mm rod
- E brass strip 25 mm wide connecting all lower electrodes
- F pieces of film overlapping edges or specimen
- G blocks of suitable insulating material, for example a paper filled laminate
- H dowel hole
- J brass bushing with internal thread

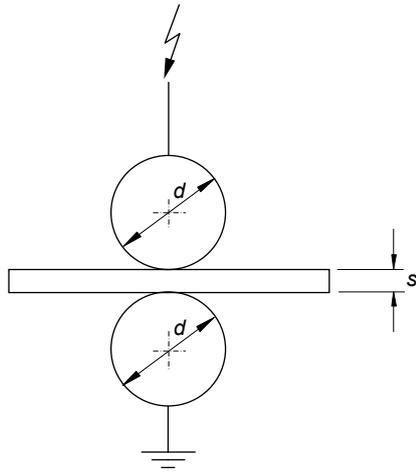
Figure 2 – Typical example of electrode arrangement for tests on tapes perpendicular to the surface (see 5.2.2)

Dimensions in millimetres



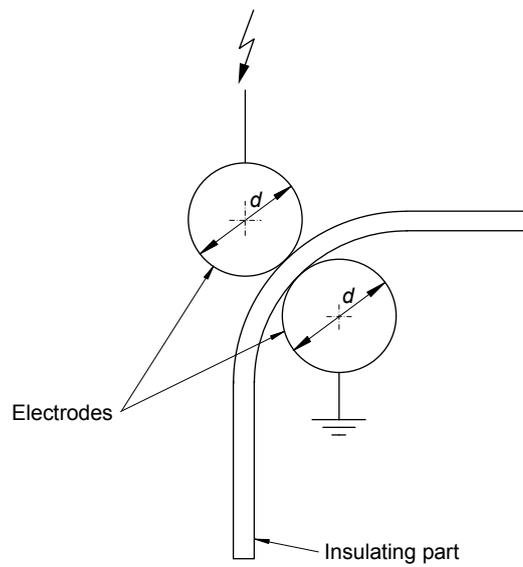
IEC 616/13

Figure 3 – Electrode arrangement for tests perpendicular to the surface on tubes and cylinders with internal diameter greater than 100 mm



IEC 617/13

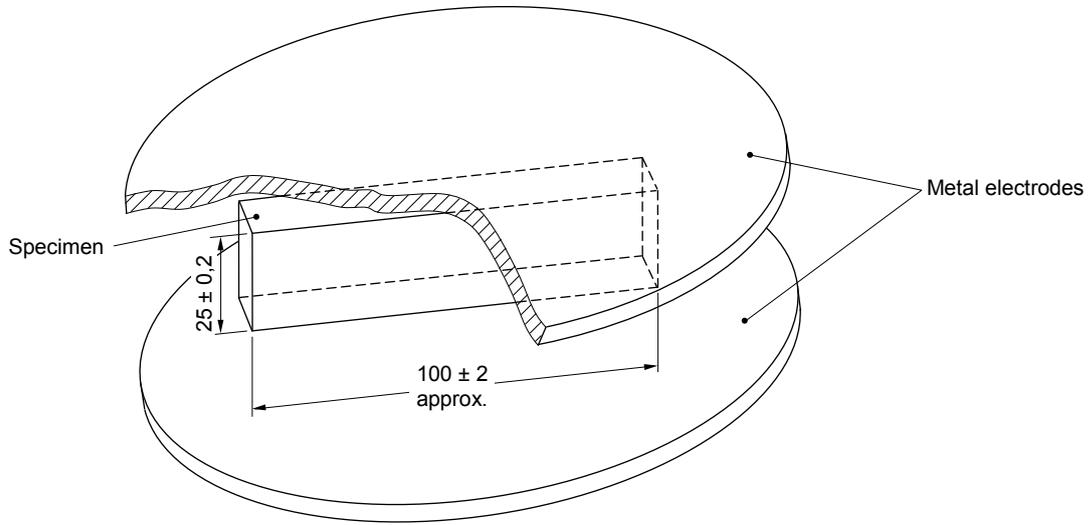
Figure 4 – Electrode arrangement for tests on casting and moulding materials (diameter of the spherical electrodes: $d = (20 \pm 0,1)$ mm)



IEC 618/13

Figure 5 – Electrode arrangement for test on shaped insulating parts (see 5.2.7)

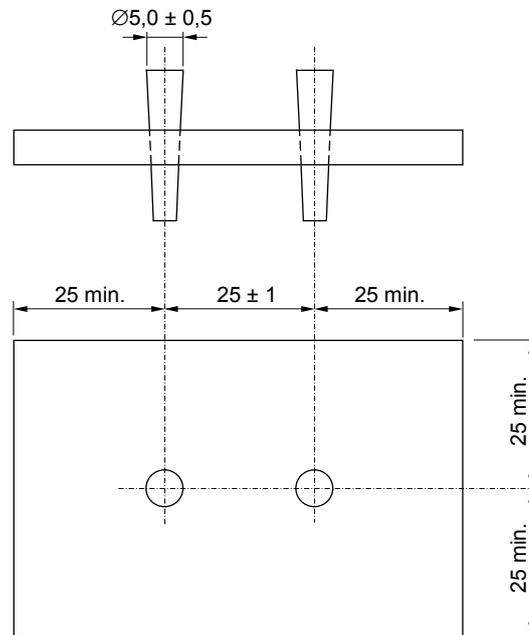
Dimensions in millimetres



IEC 619/13

**Figure 6 – Electrode arrangement for tests parallel to the surface
(and along the laminae, if present)**

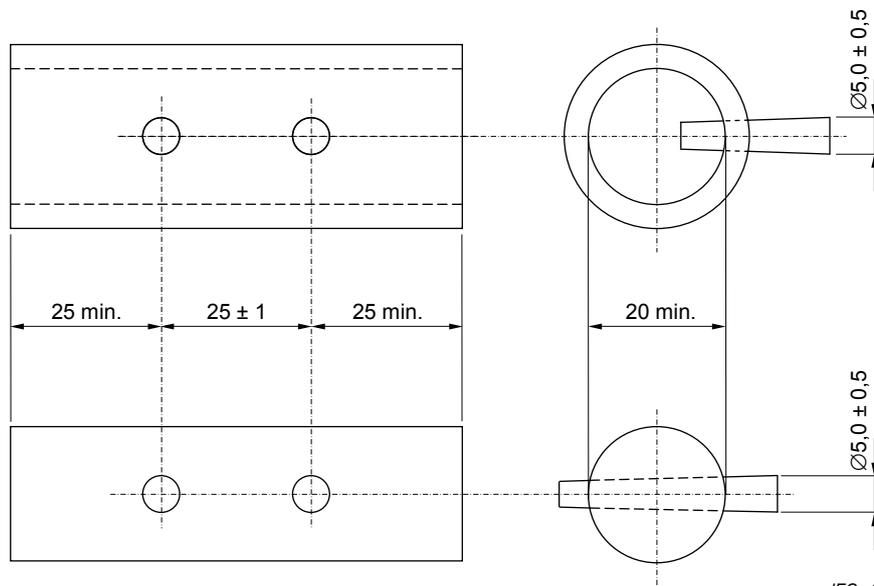
Dimensions in millimetres



IEC 620/13

Figure 7a – Plate specimen with taper pin electrodes

Dimensions in millimetres

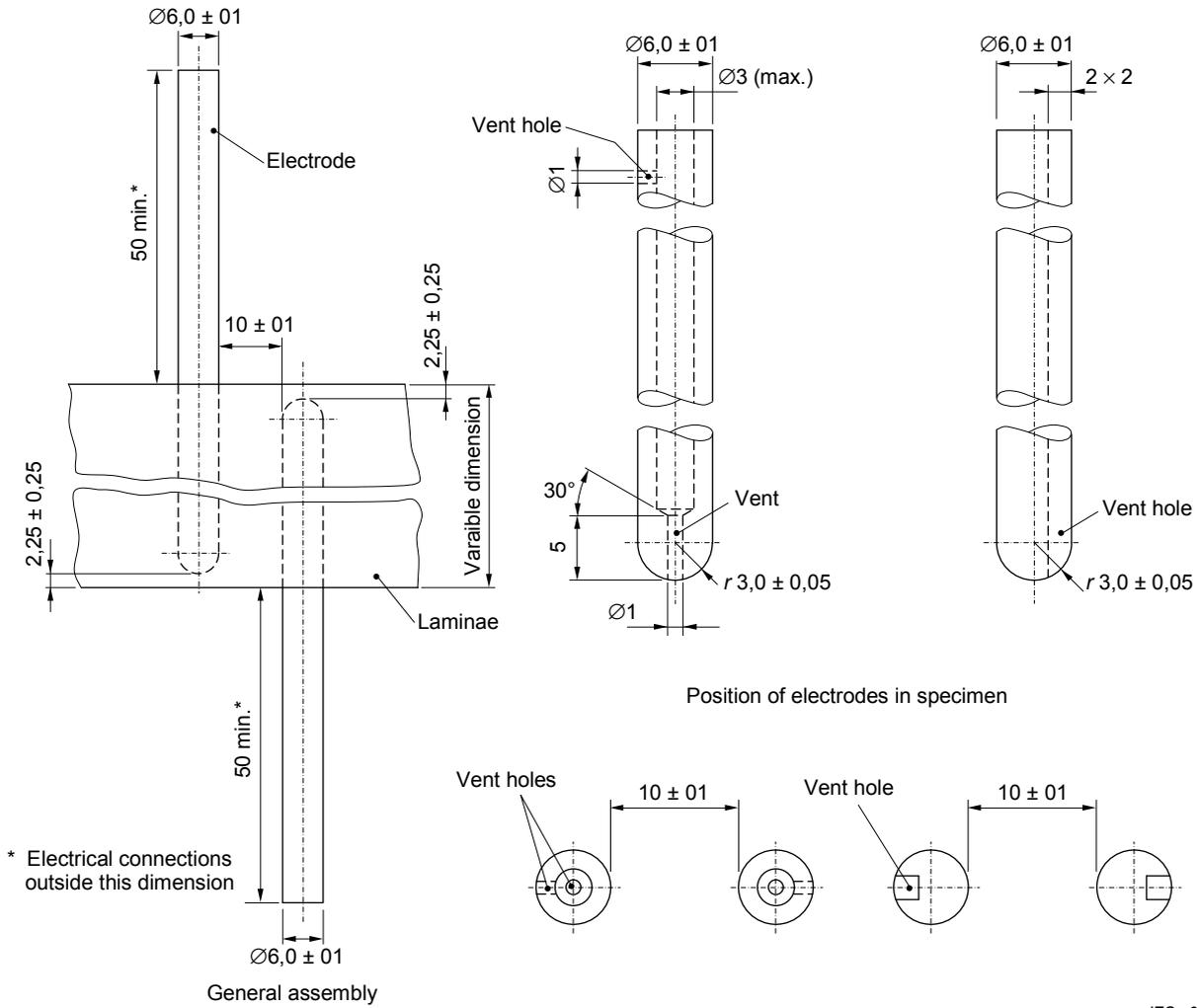


IEC 621/13

Figure 7b – Tube or rod specimens with taper pin electrodes

**Figure 7 – Electrode arrangement for tests parallel to the surface
(and along the laminae if present)**

Dimensions in millimetres



IEC 622/13

Figure 8 – Arrangement for tests parallel to the laminae for boards more than 15 mm thick with parallel cylindrical electrodes (see 5.3.4)

Annex A

(informative)

Treatment of experimental data

For routine testing, the procedure given in Clause 12 is ordinarily adequate for analysis and reporting of data. However, many research studies require more information about the response of materials to electric stress, so that larger numbers of specimens and more involved evaluation of test results may be needed.

Procedures for designing test procedures in such cases and for analysing the resultant data have been published. Some of these are shown in the Bibliography.

Bibliography

IEC 60674-2, *Specification for plastic films for electrical purposes – Part 2: Methods of test*

IEC/TR 60727-1:1982, *Evaluation of electrical endurance of electrical insulation systems – Part 1: General considerations and evaluation procedures based on normal distributions* (withdrawn)

IEC/TR 60727-2:1993, *Evaluation of electrical endurance of electrical insulation systems – Part 2: Evaluation procedures based on extreme-value distributions* (withdrawn)

IEC 62539:2007, *Guide for the statistical analysis of electrical insulation breakdown data*

IEEE 930-1987 (R1995), *IEEE guide for statistical analysis of electrical insulation voltage endurance data* (Available from IEEE Operations Center, 445 Hoe Lane, P.O. Box 1331, Piscataway, NJ 08855-1331, USA, or in some countries outside the USA, from local offices of the Global Info Center)

Special Technical Publication 926, Engineering Dielectrics, Volume IIB: *Electrical Properties of Solid Insulating Materials: Measurement Techniques – Chapter 7: Statistical Methods for the Evaluation of Electrical Insulating Systems*, American Society for Testing and Materials, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, USA

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	30
1 Domaine d'application	32
2 Références normatives	32
3 Termes et définitions	33
4 Signification des essais	33
5 Electrodes et éprouvettes	34
5.1 Généralités	34
5.2 Essais effectués perpendiculairement à la surface de matériaux non stratifiés et perpendiculairement aux strates de matériaux stratifiés	35
5.2.1 Matériaux en planches et feuilles y compris les cartons, papiers, tissus et films	35
5.2.2 Rubans, films et bandes étroites	35
5.2.3 Tubes et gaines souples	36
5.2.4 Tubes rigides (de diamètre intérieur inférieur ou égal à 100 mm)	36
5.2.5 Tubes et cylindres (de diamètre intérieur supérieur à 100 mm)	36
5.2.6 Matières coulées et moulées	36
5.2.7 Pièces solides façonnées	37
5.2.8 Vernis	37
5.2.9 Masses de remplissage	37
5.3 Essais effectués parallèlement à la surface des matériaux non stratifiés et parallèlement aux strates des matériaux stratifiés	37
5.3.1 Généralités	37
5.3.2 Electrodes plaques parallèles	38
5.3.3 Electrodes à broches coniques	38
5.3.4 Electrodes cylindriques parallèles	39
5.4 Eprouvettes d'essais	39
5.5 Distance entre les électrodes	39
6 Conditionnement avant les essais	39
7 Milieu environnant	40
7.1 Généralités	40
7.2 Essais dans l'air à température élevée	40
7.3 Essais dans les liquides	40
7.4 Essais dans des matériaux solides	41
8 Appareillage électrique	41
8.1 Source de tension	41
8.2 Mesure de la tension	41
9 Procédure	42
10 Mode de montée en tension	42
10.1 Essai de courte durée (montée rapide de la tension)	42
10.2 Essai par palier de 20 s	43
10.3 Essai à montée lente de la tension (120 s... 240 s)	43
10.4 Essai par palier de 60 s	44
10.5 Essai à montée très lente de la tension (300 s... 600 s)	44
10.6 Essais d'épreuve	44
11 Critère de claquage	44
12 Nombre d'essais	45

13 Rapport	45
Annexe A (informative) Traitement des résultats expérimentaux	52
Bibliographie.....	53
Figure 1 – Disposition des électrodes pour les essais des planches et feuilles perpendiculairement à la surface	46
Figure 2 – Exemple type de dispositifs d'électrodes pour essais sur les bandes perpendiculaires à la surface (voir 5.2.2)	47
Figure 3 – Disposition des électrodes pour essais perpendiculaires à la surface des tubes et de cylindres d'un diamètre intérieur supérieur à 100 mm	47
Figure 4 – Disposition des électrodes pour des essais sur des matériaux coulés et moulés (diamètre des électrodes sphériques: $d = (20 \pm 0,1)$ mm).....	48
Figure 5 – Disposition des électrodes pour l'essai des parties isolantes façonnées (voir 5.2.7).....	48
Figure 6 – Disposition des électrodes à broches coniques pour essais parallèlement à la surface des matériaux (et parallèlement aux strates s'il y a lieu)	49
Figure 7 – Disposition des électrodes à broches coniques pour essais parallèlement à la surface des matériaux (et parallèlement aux strates s'il y a lieu)	50
Figure 8 – Dispositif pour les essais effectués parallèlement aux strates avec électrodes cylindriques parallèles (planches > 15 mm d'épaisseur) (voir 5.3.4)	51
Tableau 1 – Pas d'incrémentation de la tension (kilovolts, crête / $\sqrt{2}$).....	43

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

RIGIDITÉ DIÉLECTRIQUE DES MATÉRIAUX ISOLANTS – MÉTHODES D'ESSAI –

Partie 1: Essais aux fréquences industrielles

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 elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de la CEI. La CEI n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 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 brevet. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60243-1 a été établie par le comité d'études 112 de la CEI: Évaluation et qualification des systèmes et matériaux d'isolement électrique.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition parue en 1998 et constitue une révision technique.

La modification technique significative par rapport à l'édition antérieure réside dans le fait que la version actuelle comprend à présent une option pour les essais des matériaux élastomères.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
112/237/FDIS	112/248/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 2.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 60243, regroupées sous le titre général *Rigidité diélectrique des matériaux isolants – Méthodes d'essai*, peut être consultée 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 stabilité 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.

RIGIDITÉ DIÉLECTRIQUE DES MATÉRIAUX ISOLANTS – MÉTHODES D'ESSAI –

Partie 1: Essais aux fréquences industrielles

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60243 fournit les méthodes d'essai pour la détermination de la rigidité diélectrique de courte durée des matériaux isolants solides, aux fréquences industrielles comprises entre 48 Hz et 62 Hz.

La présente norme ne couvre pas la manière d'effectuer l'essai des liquides ou des gaz bien que ceux-ci soient spécifiés et utilisés comme imprégnants ou comme milieu ambiant pour l'essai des matériaux isolants solides.

NOTE Les méthodes pour déterminer les tensions de claquage en surface des matériaux isolants solides sont indiquées.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

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

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

CEI 60455-2, *Spécification relative aux composés résineux polymérisables sans solvant utilisés comme isolants électriques – Partie 2: Méthodes d'essai*

CEI 60464-2, *Vernis utilisés pour l'isolation électrique – Partie 2: Méthodes d'essai*

CEI 60684-2, *Gaines isolantes souples – Part 2: Méthodes d'essai*

CEI 60836, *Spécification pour liquides isolants silicones neufs pour usages électrotechniques*

CEI 61099, *Liquides isolants – Spécifications relatives aux esters organiques de synthèse neufs destinés aux matériels électriques*

ISO 293, *Plastiques – Moulage par compression des éprouvettes en matières thermoplastiques*

ISO 294-1, *Plastiques – Moulage par injection des éprouvettes de matériaux thermoplastiques – Partie 1: Principes généraux, et moulage des éprouvettes à usages multiples et des barreaux*

ISO 294-3, *Plastiques – Moulage par injection des éprouvettes de matériaux thermoplastiques – Partie 3: Plaques de petites dimensions*

ISO 295, *Plastiques – Moulage par compression des éprouvettes de matériaux thermodurcissables*

ISO 10724 (toutes les parties), *Plastiques – Moulage par injection d'éprouvettes en compositions de poudre à mouler (PMC) thermodurcissables*

3 Termes et définitions

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

3.1

claquage électrique

perte importante des propriétés isolantes des éprouvettes lorsque exposées à des contraintes électriques, provoquant dans le circuit d'essai le courant suffisant pour faire déclencher un disjoncteur approprié.

Note 1 à l'article: Le claquage est souvent provoqué par des décharges partielles dans le gaz, ou dans le liquide support entourant l'éprouvette et les électrodes, provoquant une perforation de l'éprouvette, au-delà de la périphérie de la plus petite électrode (ou des deux électrodes si elles ont le même diamètre).

3.2

contournement

perte des propriétés isolantes du gaz ou du milieu liquide environnant une éprouvette et les électrodes lorsque exposées à des contraintes électriques, provoquant dans le circuit d'essai le courant suffisant pour faire déclencher un disjoncteur approprié.

Note 1 à l'article: La présence de traces de carbonisation ou de perforation de l'éprouvette fait la distinction entre les essais avec claquages de ceux avec contournement.

3.3

tension de claquage

3.3.1

< essais avec augmentation continue de tension > tension pour laquelle une éprouvette subit le claquage dans les conditions d'essai prescrites

3.3.2

< essais par paliers > tension la plus élevée qu'une éprouvette supporte sans claquer pendant la durée et pour le niveau de tension correspondant à cet essai

3.4

rigidité diélectrique

quotient de la tension de claquage par la distance séparant les électrodes entre lesquelles est appliquée la tension dans les conditions d'essai prescrites

Note 1 à l'article: Sauf spécification contraire, la distance entre les électrodes d'essai est déterminée conformément au 5.5 de la présente norme.

4 Signification des essais

Les résultats d'essai de rigidité diélectrique obtenus en application de cette norme sont utiles pour détecter des modifications ou des écarts par rapport aux caractéristiques normales des matériaux isolants provenant des paramètres de fabrication, des conditions de vieillissement ou d'autres causes intervenant lors de la fabrication ou dues à l'environnement. Toutefois, ils ne sont pas destinés à être utilisés pour l'évaluation du comportement des matériaux isolants lors d'une application réelle.

Les valeurs de rigidité diélectrique mesurée sur un matériau peuvent être affectées par de nombreux facteurs, parmi lesquels:

- a) Conditionnement des éprouvettes d'essai
 - 1) l'épaisseur et l'homogénéité de l'éprouvette ainsi que la présence de contraintes mécaniques;
 - 2) le conditionnement préalable des éprouvettes, en particulier les procédures de séchage et d'imprégnation;
 - 3) la présence d'inclusions gazeuses, d'humidité ou d'autres agents de contamination.
- b) Conditions d'essai
 - 1) la fréquence, la forme d'onde, la vitesse de montée en tension ou la durée d'application de la tension;
 - 2) la température, la pression et l'humidité de l'atmosphère ambiante;
 - 3) la configuration, les dimensions et la conductibilité thermique des électrodes d'essai;
 - 4) les caractéristiques électriques et thermiques du milieu ambiant.

L'effet de tous ces facteurs doit être pris en compte lorsqu'on effectue des recherches sur de nouveaux matériaux pour lesquels on n'a pas l'expérience. Cette norme définit les conditions particulières qui permettent de faire rapidement une distinction entre matériaux et qui peuvent être utilisées pour le contrôle de la qualité ou à des fins analogues.

Les résultats donnés par les différentes méthodes ne sont pas directement comparables mais peuvent permettre d'obtenir des informations sur les rigidités diélectriques relatives des matériaux. La rigidité diélectrique de la plupart des matériaux isolants décroît lorsque l'épaisseur de l'éprouvette placée entre les électrodes et la durée d'application de la tension croissent.

La rigidité diélectrique de la plupart des matériaux varie significativement en fonction de l'intensité et de la durée des décharges superficielles avant le claquage. Pour des applications exemptes de décharges partielles jusqu'à la tension d'essai, il est très important de connaître la rigidité diélectrique en l'absence de décharges avant le claquage. Toutefois, les méthodes indiquées dans cette norme ne sont généralement pas aptes à fournir de telles indications.

Les matériaux de rigidité diélectrique élevée ne résistent pas nécessairement aux dégradations à long terme telles que la chaleur, l'érosion ou la détérioration chimique dues aux décharges partielles, ou à la détérioration électrochimique en présence d'humidité, qui peuvent toutes entraîner des claquages en service sous des contraintes beaucoup plus faibles.

5 Electrodes et éprouvettes

5.1 Généralités

Les électrodes métalliques doivent être maintenues en tout temps lisses, propres et sans défaut. La disposition des électrodes pour les essais des plaques et feuilles perpendiculairement à la surface sont montrés à la Figure 1.

NOTE Cette condition est d'autant plus importante lors de l'essai d'éprouvettes minces. Les électrodes en acier inoxydable, par ex, limitent au maximum les dommages sur les électrodes lors du claquage.

Les connexions aux électrodes ne doivent pas entraîner d'inclinaison ni un quelconque déplacement des électrodes, ni influencer la pression sur les éprouvettes ou modifier notablement la configuration du champ électrique au voisinage des éprouvettes.

Si des films très minces sont soumis à l'essai (par exemple d'épaisseur inférieure à 5 μm), les normes relatives à ces matériaux doivent spécifier les électrodes et les modes opératoires particuliers concernant la manipulation et la préparation des éprouvettes.

5.2 Essais effectués perpendiculairement à la surface de matériaux non stratifiés et perpendiculairement aux strates de matériaux stratifiés

5.2.1 Matériaux en planches et feuilles y compris les cartons, papiers, tissus et films

5.2.1.1 Electrodes de dimensions inégales

Les électrodes doivent consister en deux cylindres métalliques aux arêtes arrondies pour produire un rayon de $(3 \pm 0,2)$ mm. L'une des électrodes doit posséder un diamètre de (25 ± 1) mm et une hauteur d'environ 25 mm. L'autre électrode doit posséder un diamètre de (75 ± 1) mm et une hauteur d'environ 15 mm. Ces deux électrodes doivent être disposées de façon coaxiale à 2 mm près, comme indiqué sur la Figure 1a.

NOTE Les rayons concernant la surface qui n'est pas en contact avec l'électrode ne sont pas un élément essentiel quant aux résultats d'essais, mais il convient d'éviter les décharges partielles dans le milieu ambiant.

5.2.1.2 Electrodes de même diamètre

Si on utilise un dispositif permettant d'aligner avec une précision de 1,0 mm l'électrode supérieure et l'électrode inférieure, le diamètre de l'électrode inférieure peut être réduit à (25 ± 1) mm, les diamètres des deux électrodes ne devant pas différer de plus de 0,2 mm. Les résultats obtenus ne seront pas nécessairement les mêmes que ceux obtenus avec les électrodes de dimensions inégales figurant au 5.2.1.1.

5.2.1.3 Electrodes à bille et plaque

Les électrodes doivent être constituées d'une bille en métal et d'une plaque métallique (se reporter à la Figure 1c). L'électrode supérieure doit être une bille de (20 ± 1) mm de diamètre et l'électrode inférieure doit être une plaque métallique (25 ± 1) mm de diamètre, au bord arrondi pour produire un rayon de 2,5 mm. L'écart des axes centraux entre l'électrode supérieure et l'électrode inférieure doit se situer à 1 mm.

5.2.1.4 Essais sur des éprouvettes épaisses

Quand cela est spécifié, les planches et les feuilles d'épaisseur supérieure à 3 mm doivent être réduites aux dimensions de $(3 \pm 0,2)$ mm par usinage d'un seul côté, puis soumises à l'essai avec l'électrode haute tension sur le côté non usiné.

Si nécessaire pour éviter le contournement ou en raison des limitations imposées par le matériel disponible, des éprouvettes peuvent être préparées par usinage pour obtenir des épaisseurs aussi petites que voulues.

5.2.2 Rubans, films et bandes étroites

Les électrodes doivent consister en deux tiges métalliques de $(6 \pm 0,1)$ mm de diamètre chacune, fixées verticalement l'une au-dessus de l'autre dans un support de façon que l'éprouvette soit maintenue entre les faces des extrémités des barres.

Les électrodes supérieure et inférieure doivent être coaxiales à 0,1 mm près. Les extrémités des électrodes doivent former des plans perpendiculaires aux axes et être arrondies suivant un rayon de $(1 \pm 0,2)$ mm. L'électrode supérieure doit posséder une masse de (50 ± 2) g et pouvoir se mouvoir librement dans le sens vertical du support.

La Figure 2 représente une disposition appropriée. Si les éprouvettes doivent être soumises aux essais en extension, elles doivent être fixées dans un support les maintenant dans la position exigée par rapport à l'assemblage présenté à la Figure 2. L'enroulement d'une extrémité de l'éprouvette autour d'un cylindre tournant est un moyen convenable pour obtenir l'extension désirée.

Pour empêcher un contournement aux environs des bords des rubans de faible largeur, on peut fixer l'éprouvette à l'aide de bandes de film ou d'un autre matériau diélectrique mince recouvrant les bords du ruban. En variante, on peut aussi utiliser des joints autour des électrodes à condition de ménager un espace annulaire de 1 mm à 2 mm entre l'électrode et le joint. La distance séparant l'électrode inférieure et l'éprouvette doit être inférieure à 0,1 mm (avant que l'électrode supérieure ne vienne en contact avec l'éprouvette).

NOTE Pour l'essai des films, voir la CEI 60674-2.

5.2.3 Tubes et gaines souples

À soumettre à l'essai conformément à la CEI 60684-2.

5.2.4 Tubes rigides (de diamètre intérieur inférieur ou égal à 100 mm)

L'électrode extérieure doit être constituée d'un ruban métallique de (25 ± 1) mm de largeur. L'électrode intérieure est un conducteur étroitement ajusté, par exemple tige, tube, feuille métallique ou empilement de billes métalliques de 0,75 mm à 2 mm de diamètre, assurant un bon contact avec la surface intérieure. Dans tous les cas, les extrémités de l'électrode intérieure doivent dépasser celles de l'électrode extérieure de 25 mm au moins.

S'il n'en résulte pas d'effet défavorable, on peut utiliser de la Vaseline ®¹ pour faire adhérer la feuille aux surfaces intérieure et extérieure.

5.2.5 Tubes et cylindres (de diamètre intérieur supérieur à 100 mm)

L'électrode extérieure doit être constituée d'un ruban métallique de (75 ± 1) mm de largeur et l'électrode intérieure d'un disque en feuille métallique de (25 ± 1) de diamètre, d'une souplesse suffisante pour lui permettre de s'adapter à la courbure du cylindre. Le montage est indiqué à la Figure 3.

5.2.6 Matières coulées et moulées

5.2.6.1 Matières coulées

Faire une éprouvette et effectuer les essais conformément à la CEI 60455-2.

5.2.6.2 Matières moulées

5.2.6.2.1 Généralités

Utiliser une paire d'électrodes sphériques, de $(20 \pm 0,1)$ de diamètre chacune, disposée sur un axe commun, perpendiculaire au plan constitué par l'éprouvette (voir Figure 4) ou dans le cas d'élastomères, des électrodes de dimensions inégales selon le 5.2.1.3 (voir la Figure 1c).

5.2.6.2.2 Thermodurcis

Utiliser des éprouvettes de $(1,0 \pm 0,1)$ mm d'épaisseur, moulées par compression conformément à l'ISO 295, ou moulées par injection conformément à la série ISO 10724, avec des dimensions latérales suffisantes pour éviter le contournement (voir le 5.4).

S'il n'est pas possible d'utiliser des éprouvettes de $(1,0 \pm 0,1)$ mm d'épaisseur, des éprouvettes de $(2,0 \pm 0,2)$ mm d'épaisseur doivent être utilisées.

¹ Vaseline ® est un exemple de produit approprié disponible sur le marché. Cette information est donnée à l'intention des utilisateurs de la présente norme et ne signifie nullement que la CEI approuve ou recommande l'emploi exclus de produit ainsi désigné.

5.2.6.2.3 Thermoplastiques

Utiliser des éprouvettes moulées par injection conformes à l'ISO 294-1 et à l'ISO 294-3, dans un moule ISO de type D1 60 mm × 60 mm × 1 mm. Si ces dimensions sont insuffisantes pour éviter les contournements (voir 5.4), ou si des éprouvettes moulées par compression sont stipulées par la norme relative au matériau considéré, utiliser des plateaux moulés par compression d'au moins 100 mm de diamètre et de $(1,0 \pm 0,1)$ mm d'épaisseur, conformément à l'ISO 293.

Pour les conditions de moulage par injection ou compression, voir la norme relative au matériau correspondant. S'il n'y a pas de norme applicable de matériau correspondant, les conditions doivent faire l'objet d'un accord entre les parties intéressées.

5.2.6.2.4 Élastomères

Utiliser des éprouvettes d'essai de $(1,0 \pm 0,1)$ mm d'épaisseur avec des dimensions latérales suffisantes pour éviter le contournement (voir le 5.4), et moulées dans des conditions normalisées. S'il n'existe pas de norme effective, les conditions de traitement doivent faire l'objet d'un accord entre les parties intéressées.

Comme disposition des électrodes, les électrodes de dimensions inégales doivent être utilisées selon le 5.2.1.3 (voir la Figure 1c). Dans le cas d'élastomères de faible dureté, par exemple des caoutchoucs au silicone, un matériau coulé approprié doit être utilisé comme matériau d'enrobage ou milieu ambiant, respectivement.

5.2.7 Pièces solides façonnées

Pour les éprouvettes isolantes façonnées qui n'ont pas de contact suffisant avec la surface de contact plane de l'électrode, les électrodes sphériques identiques opposées doivent être utilisées (voir la Figure 5). Les électrodes communément utilisées pour ce type d'essais ont un diamètre de 12,5 mm ou de 20 mm.

5.2.8 Vernis

À soumettre à l'essai conformément à la CEI 60464-2.

5.2.9 Masses de remplissage

Les électrodes doivent être constituées de deux billes métalliques de 12,5 mm à 13 mm de diamètre, disposées horizontalement le long d'un même axe séparées par $(1 \pm 0,1)$ mm, et sauf spécification contraire, noyées dans la masse de remplissage. On doit veiller à éviter la formation de cavités, en particulier entre les électrodes. Étant donné que les valeurs obtenues avec des distances différentes entre les électrodes ne sont pas directement comparables, la valeur de cette distance doit être précisée dans la spécification et notée dans le procès verbal d'essai.

5.3 Essais effectués parallèlement à la surface des matériaux non stratifiés et parallèlement aux strates des matériaux stratifiés

5.3.1 Généralités

S'il n'y a pas lieu de différencier le claquage par perforation et par contournement en surface des éprouvettes, on peut utiliser les électrodes de 5.3.2 ou de 5.3.3, de préférence 5.3.2.

Si l'on doit éviter un contournement en surface, les électrodes de 5.3.3 doivent être choisies.

5.3.2 Electrodes plaques parallèles

5.3.2.1 Planches et feuilles

Pour les essais de planches et de feuilles, l'éprouvette doit être de l'épaisseur du matériau à soumettre à l'essai et rectangulaire, de longueur (100 ± 2) mm et de largeur $(25 \pm 0,2)$ mm. Ses tranches dans le sens de la longueur doivent être découpées de façon à obtenir des plans parallèles, à angles droits avec la surface du matériau. L'éprouvette est mise en place, la largeur de 25 mm se trouvant entre les plaques métalliques parallèles, d'au moins 10 mm d'épaisseur, formant les électrodes entre lesquelles on doit appliquer la tension. Pour des matériaux de faible épaisseur, on utilise deux ou trois éprouvettes placées de façon appropriée (c'est-à-dire avec les tranches dans le sens de la longueur formant un angle convenable) pour supporter l'électrode supérieure. Les électrodes doivent être de dimensions suffisantes pour déborder les éprouvettes d'au moins 15 mm. On doit veiller à assurer un bon contact sur toute la surface de ces tranches. Les bords des électrodes doivent être suffisamment arrondis (de 3 mm à 5 mm) de façon à éviter un claquage entre les bords des électrodes (voir Figure 6).

Si le claquage ne peut pas être obtenu avec le matériel disponible, la largeur des éprouvettes peut être réduite à $(15 \pm 0,2)$ mm ou $(10 \pm 0,2)$ mm. Ces réductions sur la largeur des éprouvettes doivent être spécifiquement enregistrées dans le rapport d'essai.

Ce type d'électrodes est uniquement adapté aux essais sur des matériaux rigides dont l'épaisseur est au moins égale à 1,5 mm.

5.3.2.2 Tubes et cylindres

Pour les essais de tubes et cylindres, l'éprouvette doit être un anneau complet ou une partie de 100 mm d'un anneau d'une longueur axiale de $(25 \pm 0,2)$ mm. Les deux tranches de l'éprouvette doivent constituer deux plans parallèles, à angle droit avec l'axe du tube ou du cylindre. L'éprouvette est soumise à l'essai entre deux plaques parallèles semblables à celles qui ont été décrites en 5.3.2.1 pour les planches et les feuilles. Si nécessaire, on utilise deux ou trois éprouvettes pour supporter l'électrode supérieure. Les électrodes doivent être de dimensions suffisantes pour déborder les éprouvettes d'au moins 15 mm. On doit veiller à assurer un bon contact sur toute la surface des tranches des éprouvettes.

5.3.3 Electrodes à broches coniques

On perce deux trous parallèles perpendiculairement à la surface, leurs axes espacés de (25 ± 1) mm et de diamètre tel qu'après alésage avec un alésoir conique à 2 %, le diamètre de chaque trou sur son grand côté ne soit pas inférieur à 4,5 mm ni supérieur à 5,5 mm.

Les trous doivent être percés de part en part des éprouvettes, ou, pour les grands tubes, dans une paroi seulement. Ils doivent être alésés sur toute leur longueur.

Lors du perçage et de l'alésage, on doit veiller à n'endommager en aucun cas le matériau aux abords des trous, à ne pas le fendre, le casser ou le carboniser.

Les broches coniques utilisées comme électrodes doivent former un cône à $(2 \pm 0,02)$ % et doivent être insérées par pression, et non avec un marteau, dans les trous de telle sorte qu'elles soient fermement serrées et débordent de chaque côté de l'éprouvette d'au moins 2 mm (voir Figure 7, 7a et 7b).

Ce type d'électrodes est uniquement adapté aux essais sur des matériaux rigides dont l'épaisseur est au moins égale à 1,5 mm.

5.3.4 Electrodes cylindriques parallèles

Pour les essais sur éprouvette de haute rigidité diélectrique et d'épaisseur supérieure à 15 mm, on doit découper des éprouvettes de 100 mm × 50 mm avec deux trous percés parallèlement, comme le montre la Figure 8. Le diamètre de chaque trou sera au plus supérieur de 0,1 mm au diamètre réel des électrodes cylindriques, qui doit être de $(6 \pm 0,1)$ mm de diamètre avec une calotte hémisphérique à leur extrémité. La base de chaque trou est hémisphérique pour correspondre à l'extrémité de l'électrode de façon que l'intervalle séparant l'extrémité de l'électrode avec la base du trou n'excède pas 0,05 mm en n'importe quel endroit. Sauf stipulation contraire dans la spécification du matériau, les trous doivent être séparés par (10 ± 1) mm, bord à bord, sur toute leur longueur et le fond hémisphérique des trous se trouvera à $(2,25 \pm 0,25)$ mm de la surface opposée à l'entrée. La Figure 8 représente deux autres formes d'électrodes avec événements. Lorsque des électrodes à rainures sont utilisées, les rainures doivent être diamétralement opposées à l'intervalle entre les électrodes.

5.4 Eprouvettes d'essais

En plus des indications sur les éprouvettes données aux paragraphes ci-dessus, les recommandations générales suivantes doivent être notées.

Lors de la préparation des éprouvettes à partir de matériaux solides, on doit veiller à ce que les surfaces en contact avec les électrodes soient parallèles et aussi plates et lisses que le permet le matériau.

Pour les essais effectués perpendiculairement à la surface du matériau, il faut que les éprouvettes possèdent une surface suffisante pour éviter des contournements dans les conditions d'essai.

Lors des essais effectués perpendiculairement à la surface du matériau, les résultats obtenus sur des éprouvettes d'épaisseurs différentes ne sont pas directement comparables (voir Article 4).

5.5 Distance entre les électrodes

La valeur à utiliser pour le calcul de la rigidité diélectrique doit être l'une des grandeurs suivantes, selon ce qui est spécifié pour le matériau en essai:

- a) épaisseur nominale ou distance entre les électrodes (utiliser cette valeur sauf spécification contraire);
- b) épaisseur moyenne de l'éprouvette ou distance entre les électrodes lors d'essais effectués parallèlement à la surface;
- c) épaisseur ou distance entre les électrodes mesurée à proximité immédiate de l'endroit du claquage de chaque éprouvette.

6 Conditionnement avant les essais

La rigidité diélectrique des matériaux isolants varie avec la température et la teneur en humidité. Lorsqu'il existe une spécification pour le matériau à soumettre à l'essai, il faut en suivre les indications. Dans les autres cas, les éprouvettes doivent être conditionnées pendant au moins 24 h à (23 ± 2) °C, et (50 ± 5) % d'humidité relative, correspondant à l'atmosphère ambiante normalisée de la CEI 60212, à moins qu'on ne se soit mis d'accord sur d'autres conditions.

7 Milieu environnant

7.1 Généralités

Les matériaux doivent être soumis à l'essai dans un environnement choisi pour éviter les contournements. Comme matériaux adaptés, on peut utiliser l'huile pour transformateur selon la CEI 60296, les fluides de silicone selon la CEI 60836 ou les esters fluides selon la CEI 61099 ou encore des matériaux coulés appropriés. Le milieu ambiant ne doit pas avoir d'interaction significative avec le matériau en essai, en provoquant par exemple un gonflement, au moment de l'essai.

Les éprouvettes ayant des valeurs de claquage relativement faibles peuvent être soumises à l'essai dans l'air, en particulier si les essais doivent être effectués à des températures élevées. Même pour des essais à tension modérée, des décharges sur les bords des électrodes peuvent avoir des conséquences significatives sur les valeurs d'essai.

S'il est prévu que les essais évaluent la tenue d'un matériau dans un autre milieu, ce milieu peut être utilisé.

Choisir un milieu ayant des conséquences néfastes minimales pour le matériau en essai.

Il peut y avoir des effets prononcés du milieu sur les résultats, particulièrement dans le cas de matériaux absorbants tels que le papier et le carton, et il est important que la procédure de traitement des éprouvettes définisse exactement toutes les étapes à suivre (par exemple séchage et imprégnation), ainsi que les conditions du milieu pendant l'essai.

On doit laisser suffisamment de temps à l'éprouvette et aux électrodes pour atteindre la température prescrite tout en se souvenant que certains matériaux peuvent être affectés par une exposition prolongée à de hautes températures.

7.2 Essais dans l'air à température élevée

Les essais dans l'air à température élevée peuvent être faits dans une étuve adéquate suffisamment grande pour contenir les éprouvettes et les électrodes sans qu'il y ait contournement pendant les essais. L'étuve doit comporter un système de circulation de l'air de telle sorte que la température soit maintenue uniforme à ± 2 K près de la température spécifiée tout autour de l'éprouvette et avec l'aide d'un thermomètre, thermocouple ou tout autre système permettant de mesurer la température aussi près que possible de l'emplacement de l'essai.

7.3 Essais dans les liquides

Lorsque des essais sont effectués dans un liquide isolant, il est nécessaire de s'assurer de la valeur adéquate de la rigidité diélectrique pour éviter des contournements. Des éprouvettes soumises à l'essai dans un liquide ayant une permittivité relative plus élevée que l'huile de transformateur peuvent présenter une rigidité diélectrique plus élevée que lorsqu'elles sont soumises à l'essai dans de l'huile de transformateur. La contamination réduisant la rigidité diélectrique de l'huile ou d'autres liquides peut également augmenter la rigidité diélectrique mesurée des éprouvettes.

Les essais à température élevée peuvent être réalisés dans un récipient disposé dans une étuve (voir 7.1) ou dans un bain contrôlé par un thermostat et utilisant le liquide isolant pour le transport de la chaleur. Dans ce cas, un système forcé de circulation du liquide doit garantir une répartition uniforme de la température spécifiée et doit la maintenir à ± 2 K près tout autour de l'éprouvette.

7.4 Essais dans des matériaux solides

Pour des éprouvettes d'élastomères souples de forme plate, un matériau coulé doit être utilisé, qui de préférence durcit à température ambiante et est doté d'une permittivité analogue à l'élastomère en essai. Au cours du coulage, les espaces doivent être évités, en particulier dans le volume entre l'électrode cylindrique et la plaque d'essai par un traitement sous vide. Le matériau coulé doit avoir une adhérence suffisante aux électrodes et la surface de la plaque d'essai.

Pour les élastomères de silicone, il peut s'agir d'un caoutchouc au silicone de faible viscosité (vulcanisation à température ambiante pour deux composants)

8 Appareillage électrique

8.1 Source de tension

La tension d'essai doit provenir d'un transformateur élévateur alimenté par une source basse tension sinusoïdale et variable. Le transformateur, sa source de tension et les appareils de commande associés doivent posséder les propriétés suivantes.

Le rapport de la valeur de crête à la valeur efficace de la tension d'essai doit être de $\sqrt{2} \pm 5\%$ (1,34...1,48) lorsque l'éprouvette est branchée dans le circuit pour toutes les tensions inférieures ou égales à la tension de claquage.

La puissance assignée de la source doit être suffisante pour satisfaire aux exigences ci-dessus, jusqu'à ce que le claquage se produise. Pour la plupart des matériaux et avec les systèmes d'électrodes recommandées, un courant secondaire de 40 mA est généralement adéquat. Pour la plupart des essais, la puissance assignée nécessaire varie de 0,5 kVA pour les éprouvettes de faible capacité, jusqu'à une tension de 10 kV, à 5 kVA pour une tension atteignant 100 kV.

Les commandes de la source basse tension variable doivent permettre de faire varier la tension d'essai lentement et uniformément sans surtension. En augmentant la tension selon l'Article 8 les à-coups, produits par exemple par un autotransformateur réglable, ne doivent pas excéder 2 % de la tension de claquage prévue.

Les dispositifs de commande motorisés sont préférables pour effectuer des essais de courte durée ou de montée rapide en tension.

La source de tension doit être protégée contre les avaries par un disjoncteur coupant l'alimentation en l'espace de quelques périodes, lors du claquage d'une éprouvette. Il peut consister en un élément sensible aux surtensions disposé dans le circuit HT des électrodes.

Pour protéger le transformateur de dommages dus aux surintensités ou aux surtensions qui suivent le claquage, il est souhaitable d'insérer en série avec les électrodes une résistance de valeur adaptée. La valeur de cette résistance dépendra des dommages tolérés sur les électrodes.

L'utilisation d'une résistance de très forte valeur peut conduire à des tensions de claquage plus élevées que celles obtenues pour une résistance de valeur inférieure.

8.2 Mesure de la tension

Les tensions sont enregistrées en valeurs efficaces équivalentes. On utilise de préférence un voltmètre de crête et on divise la lecture faite par $\sqrt{2}$. L'erreur totale du circuit de mesure de la tension ne doit pas dépasser 5 % de la valeur mesurée, y compris l'erreur due au temps de réponse du voltmètre. L'erreur sur le temps de réponse ne doit pas être supérieure à 1 % de la tension de claquage pour une quelconque vitesse d'accroissement utilisée.

Un voltmètre satisfaisant aux exigences ci-dessus doit être utilisé pour mesurer la tension appliquée aux électrodes. On doit, de préférence, le connecter soit directement, soit par l'intermédiaire d'un diviseur ou d'un transformateur de tension. Si on utilise pour la mesure un enroulement auxiliaire du transformateur élévateur, la précision de la mesure de la tension appliquée aux électrodes ne doit pas être influencée par la charge du transformateur élévateur, ni par la résistance en série.

Il est préférable, pour la lecture, que la valeur de la tension d'essai maximale appliquée soit mémorisée sur le voltmètre après le claquage pour permettre de lire et de relever avec précision la tension de claquage, mais l'appareil de mesure ne doit pas être sensible aux oscillations transitoires qui peuvent se produire lors du claquage.

9 Procédure

Le document prescrivant les essais doit indiquer les éléments suivants:

- a) le type d'éprouvette à soumettre aux essais;
- b) la méthode pour la mesure de l'épaisseur des éprouvettes (si cette valeur n'est pas nominale);
- c) tout traitement ou conditionnement précédant l'essai;
- d) le nombre d'éprouvettes, s'il diffère de cinq;
- e) la température pendant l'essai;
- f) le milieu environnant;
- g) les électrodes à utiliser;
- h) le mode de montée en tension;
- i) si le résultat doit indiquer la rigidité diélectrique ou la tension de claquage.

Des électrodes conformes à l'Article 5 doivent être appliquées sur l'éprouvette de telle sorte que tout dommage à l'éprouvette soit évité. À l'aide d'un appareil conforme à l'Article 8, on applique une tension entre les électrodes, tension qui est augmentée conformément aux précisions fournies du 10.1 au 10.5. On observe si les éprouvettes subissent un claquage ou un contournement (voir l'Article 11).

10 Mode de montée en tension

10.1 Essai de courte durée (montée rapide de la tension)

La tension doit être élevée à partir de zéro à une vitesse uniforme jusqu'au claquage.

La vitesse de montée doit être choisie de façon que le claquage du matériau soumis à l'essai se produise généralement entre 10 s et 20 s. Pour certains matériaux, la tension de claquage peut varier fortement, si bien que des résultats se trouvent en dehors de ces limites. L'essai est satisfaisant si la majorité des claquages se produisent entre 10 s et 20 s.

Une autre vitesse de montée de tension répondant aux critères de durée de claquage mentionnés ci-dessus peut également être utilisée, une fois convenue entre toutes les parties intéressées.

La vitesse de montée en tension doit être choisie parmi l'une des suivantes:

100 V/s; 200 V/s; 500 V/s; 1 000 V/s; 2 000 V/s; 5 000 V/s; etc.

Une vitesse de montée communément utilisée pour une large gamme de matériaux est de 500 V/s. Pour les matériaux moulés une vitesse de montée de 2 000 V/s est recommandée afin d'obtenir des résultats comparables à ceux de la CEI 60296.

Pour les données multipoint, présentées sous forme de rapport d'échantillons entre ceux qui sont non exposés et ceux qui sont exposés (comme le vieillissement thermique à long terme), des gradients identiques de montée doivent être utilisés pour l'ensemble des échantillons.

10.2 Essai par palier de 20 s

On doit appliquer à l'éprouvette une tension égale à 40 % de la valeur de la tension de claquage probable lors d'un essai de courte durée. Si on ignore la valeur probable de la tension de claquage lors d'un essai de courte durée, elle doit être déterminée conformément à la méthode décrite en 10.1.

Si l'éprouvette supporte pendant 20 s cette tension sans défaillance, on doit augmenter cette tension d'une valeur égale au pas d'incrémentement comme cela est défini dans le Tableau 1. On doit appliquer aussitôt et successivement chacune des tensions immédiatement supérieures pendant 20 s jusqu'au claquage.

Tableau 1 – Pas d'incrémentement de la tension (kilovolts, crête / $\sqrt{2}$)

Si la tension de départ (en kilovolts) est de	Pas d'incrémentement kV
1,0 ou moins	10 % de la tension de départ
Supérieure à 1,0 jusqu'à 2,0	0,1
Supérieure à 2,0 jusqu'à 5,0	0,2
Supérieure à 5,0 jusqu'à 10,0	0,5
Supérieure à 10 jusqu'à 20	1,0
Supérieure à 20 jusqu'à 50	2,0
Supérieure à 50 jusqu'à 100	5,0
Supérieure à 100 jusqu'à 200	10,0
Supérieure à 200	20,0

S'ils sont spécifiés, des pas d'incrémentement de tension plus petits peuvent être utilisés. Dans de tels cas, des tensions de départ plus élevées sont autorisées, mais le claquage ne doit pas se produire pas en moins de 120 s.

Les accroissements de tension doivent être effectués aussi rapidement que possible sans aucune surtension transitoire, et le temps passé à élever la tension doit être compté dans la période de 20 s à la tension supérieure.

Si le claquage se produit en moins de six paliers dès le début de l'essai, on doit soumettre à l'essai cinq nouvelles éprouvettes en débutant avec une tension plus basse.

La rigidité diélectrique doit être fondée sur la tension nominale la plus élevée qui est tenue pendant 20 s sans claquage.

10.3 Essai à montée lente de la tension (120 s... 240 s)

La tension doit être élevée à partir d'une valeur correspondant à 40 % de la tension de claquage probable lors d'un essai de courte durée et avec une vitesse uniforme telle que les claquages se produisent entre 120 s et 240 s. Pour les matériaux qui présentent une forte dispersion des résultats, quelques claquages peuvent se produire en dehors de ces limites.

L'essai est acceptable si la majorité des claquages se produit entre 120 s et 240 s. La vitesse de montée de la tension doit être choisie au début parmi les suivantes:

2 V/s; 5 V/s; 10 V/s; 20 V/s; 50 V/s; 100 V/s; 200 V/s; 500 V/s; 1 000 V/s; etc.

Une autre vitesse de montée de tension répondant aux critères de durée de claquage mentionnés ci-dessus peut également être utilisée, une fois convenue entre toutes les parties intéressées.

10.4 Essai par palier de 60 s

Sauf spécification contraire, l'essai doit être conduit conformément à 10.2 mais avec une durée des paliers de 60 s.

10.5 Essai à montée très lente de la tension (300 s... 600 s)

Sauf spécification contraire, l'essai est conduit conformément à 10.3 mais en veillant à ce que les claquages se produisent entre 300 s et 600 s et en choisissant une vitesse de montée de la tension parmi les suivantes:

1 V/s; 2 V/s; 5 V/s; 10 V/s; 20 V/s; 50 V/s; 100 V/s; 200 V/s; etc.

NOTE Les essais à montée lente de la tension de 120 s... 240 s selon 10.3 et de 300 s... 600 s selon 10.5 donnent approximativement les mêmes résultats que les essais par paliers de 20 s (voir 10.2) ou de 60 s (voir 10.4). Ils sont mieux adaptés que les essais par paliers lorsqu'on emploie des appareils d'essais automatiques modernes et qu'ils ont été introduits pour faciliter l'emploi de tels appareils.

Une autre vitesse de montée de tension répondant aux critères de durée de claquage mentionnés ci-dessus peut également être utilisée, une fois convenue entre toutes les parties intéressées.

10.6 Essais d'épreuve

Lorsqu'il est exigé d'appliquer une tension d'épreuve de valeur prédéterminée pour un essai d'épreuve ou de tenue, la tension doit être élevée à la valeur exigée aussi rapidement qu'il est possible pour l'obtenir exactement sans surtension transitoire. On maintient alors cette tension à la valeur exigée pendant la durée spécifiée.

11 Critère de claquage

Un claquage est accompagné d'un accroissement du courant dans le circuit et une diminution de la tension aux bornes de l'éprouvette. L'accroissement du courant peut déclencher un disjoncteur ou faire fondre un fusible. Toutefois, le déclenchement d'un disjoncteur peut parfois être provoqué par un contournement, par le courant de charge de l'éprouvette, par des courants de fuite ou de décharges partielles, par un courant de magnétisation dans le matériel, ou un dysfonctionnement. Il est donc essentiel que les caractéristiques des disjoncteurs soient parfaitement coordonnées avec celles des appareils d'essai et du matériau en essai, sinon le disjoncteur peut fonctionner sans claquage de l'éprouvette ou ne pas fonctionner lorsque le claquage a eu lieu et ainsi ne pas fournir de critère positif du claquage. Même dans les conditions les plus favorables, il peut se produire des claquages prématurés dans le milieu environnant et des observations doivent être effectuées afin de détecter ces claquages pendant les essais. Si des claquages sont observés dans le milieu ils doivent être notés.

Pour les matériaux dont la sensibilité au circuit de détection de défaut est très significative, la norme relative à ce matériau doit le préciser.

Lorsque les essais sont faits perpendiculairement à la surface d'un matériau, il n'existe en général aucun doute lorsque le claquage a eu lieu et l'examen visuel qui suit montre aussitôt le canal réel du claquage, que celui-ci soit ou non carbonisé.

Pour les essais effectués parallèlement à la surface d'un matériau, le 5.3 exige de différencier les claquages par perforation ou par contournement, à cet effet, on peut examiner l'éprouvette ou au besoin en réappliquer une tension inférieure à celle du premier claquage apparu. Un moyen commode qui a été trouvé consiste à réappliquer la moitié de la tension de claquage et à l'augmenter jusqu'au claquage comme dans le premier essai.

12 Nombre d'essais

Sauf spécification contraire, on doit effectuer cinq essais et déterminer la rigidité diélectrique ou la tension de claquage à partir de la valeur centrale des résultats d'essais. Si un des résultats d'essais s'écarte de plus de 15 % de la valeur centrale, on doit effectuer cinq essais supplémentaires. On doit déterminer la rigidité diélectrique ou la tension de claquage à partir de la valeur centrale des 10 résultats.

Lorsque les essais sont réalisés avec un autre but que celui d'un contrôle de qualité de routine, il est nécessaire d'utiliser un plus grand nombre d'éprouvettes en fonction de la dispersion observée sur le matériau et du traitement statistique des données à effectuer.

Faire référence à l'Annexe A qui peut être utile pour déterminer le nombre d'essais nécessaires et interpréter les résultats d'essais autres que ceux de contrôle de qualité de routine.

13 Rapport

Sauf spécification contraire, le rapport doit comprendre les indications suivantes:

- a) identification complète du matériau en essai, description des éprouvettes et de leur mode de préparation;
- b) valeur médiane des rigidités diélectriques en kilovolts/millimètres et/ou des tensions de claquage en kilovolts;
- c) épaisseur de chaque éprouvette (voir 5.4);
- d) milieu environnant lors des essais et ses propriétés;
- e) système d'électrodes;
- f) mode d'application de la tension et sa fréquence;
- g) valeurs individuelles des rigidités diélectriques en kV/mm et/ou des tensions de claquage en kV;
- h) température, pression et humidité pour les essais dans l'air ou dans un autre gaz, ou température du milieu environnant pour les essais dans les liquides;
- i) conditionnement des éprouvettes avant l'essai;
- j) indication sur le type et la position du claquage.

Dans le cas où un procès-verbal très simplifié est nécessaire, les six premiers points avec les valeurs les plus élevées et les moins élevées doivent y figurer.

Dimensions en millimètres

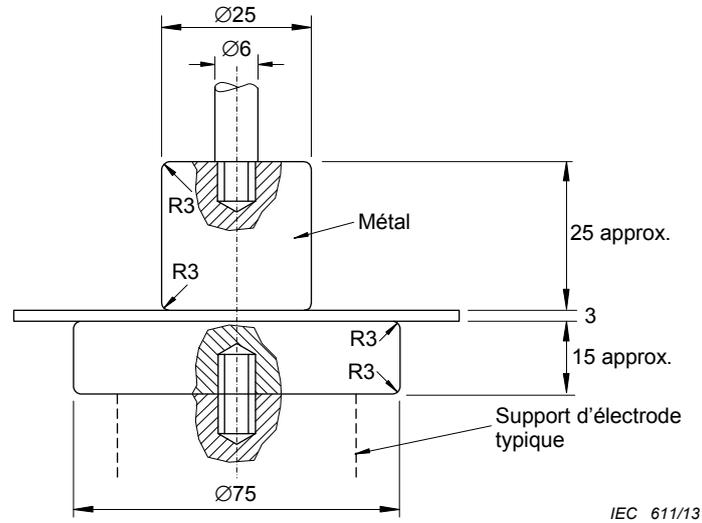


Figure 1a – Électrodes de dimensions inégales

Dimensions en millimètres

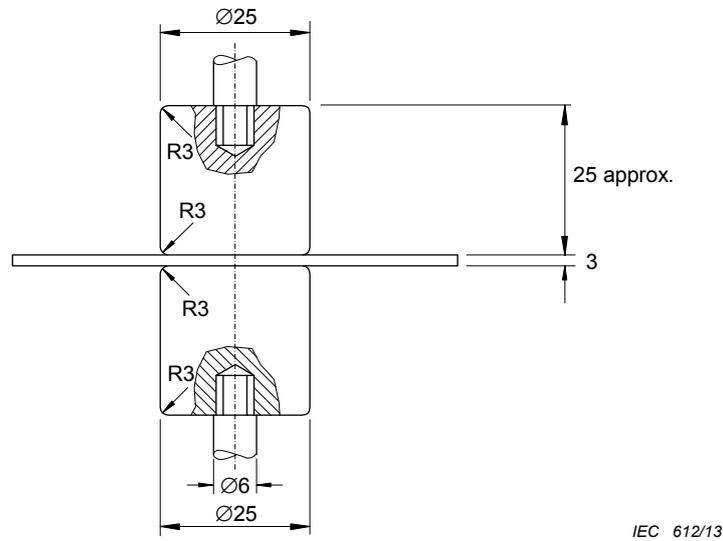


Figure 1b – Électrodes de même diamètre

Dimensions en millimètres

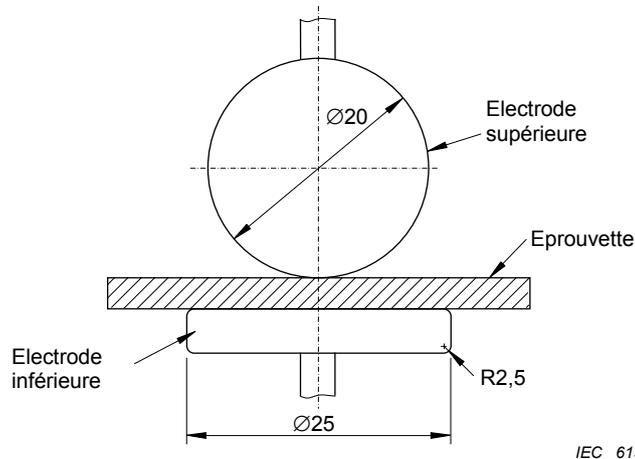


Figure 1c – Électrodes à bille et plaque

Toutes les tolérances pour les mesures linéaires ± 1 mm pour le rayon ± 2 mm

Figure 1 – Disposition des électrodes pour les essais des plaques et feuilles perpendiculairement à la surface

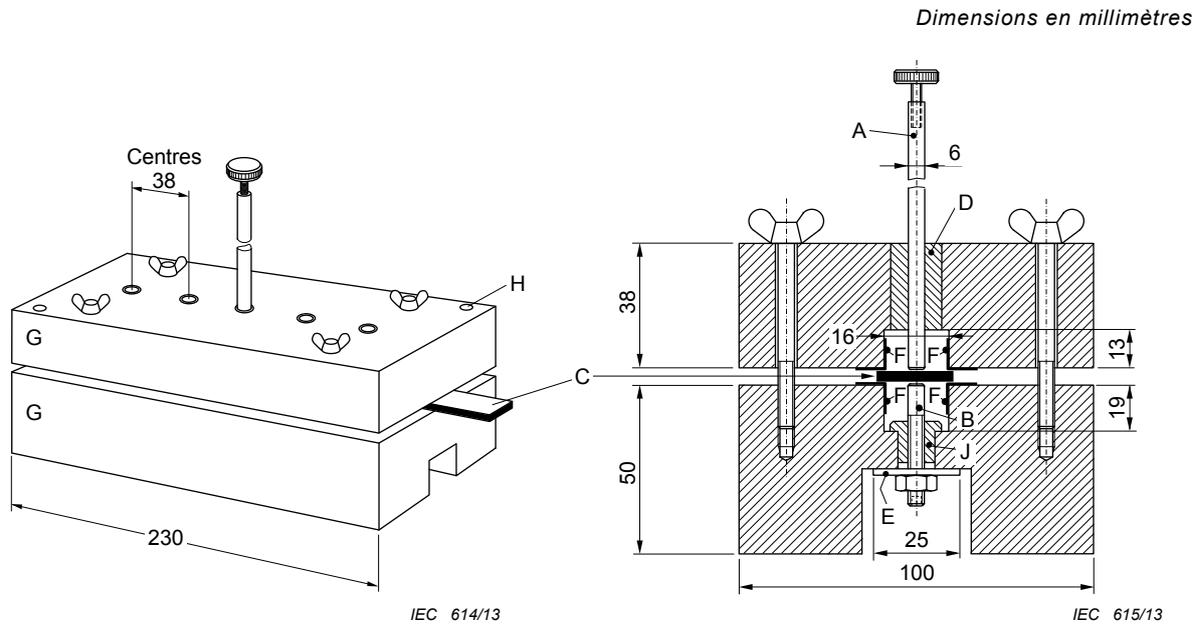


Figure 2a – Disposition générale de l'appareil

Figure 2b – Coupe de l'appareil passant par les électrodes (partie supérieure légèrement surélevée)

Légende

- A électrode supérieure ajustée dans la douille D
- B électrode inférieure
- C éprouvette en essai
- D douille de laiton avec diamètre intérieur juste suffisant pour laisser passer une tige de 6 mm
- E bande de laiton de 25 mm de large reliant toutes les électrodes inférieures
- F bande de film à cheval sur les bords de l'éprouvette
- G blocs de matériaux isolants appropriés, par exemple en papier stratifié imprégné
- H trou du goujon
- J douille en laiton avec filetage intérieur

Figure 2 – Exemple type de dispositifs d'électrodes pour essais sur les bandes perpendiculaires à la surface (voir 5.2.2)

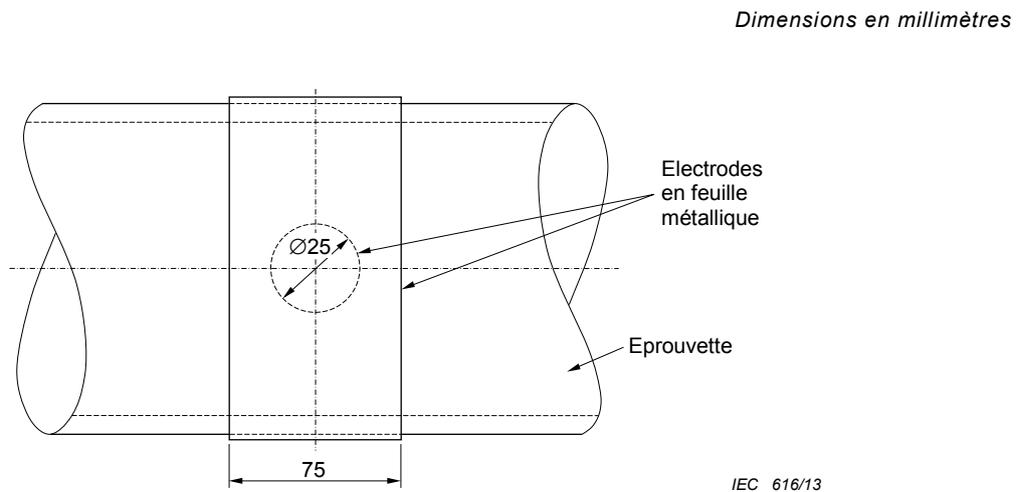
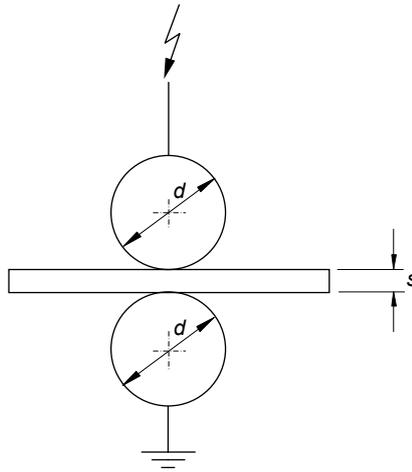
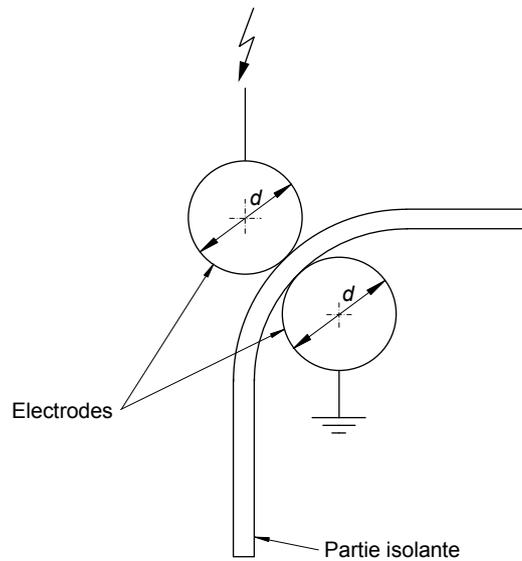


Figure 3 – Disposition des électrodes pour essais perpendiculaires à la surface des tubes et de cylindres d'un diamètre intérieur supérieur à 100 mm



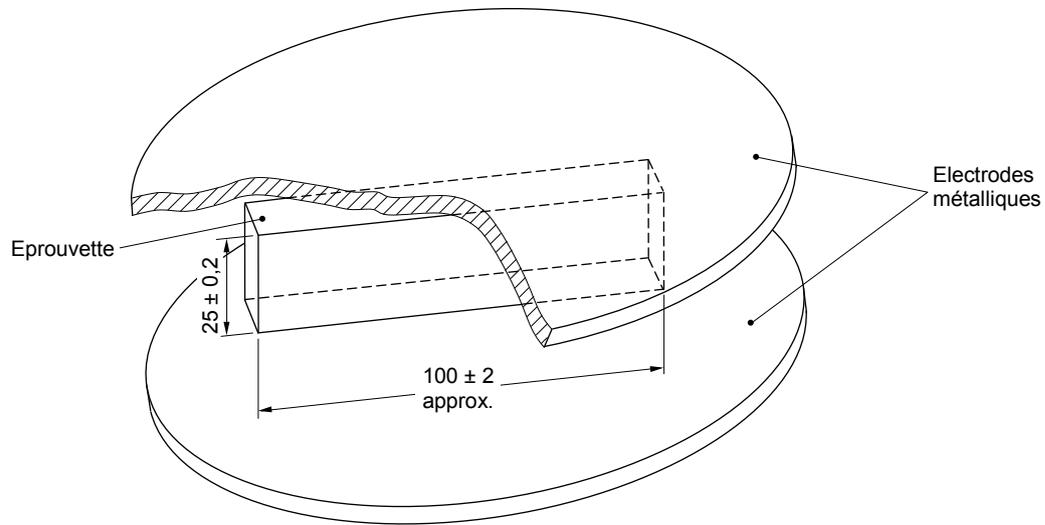
IEC 617/13

Figure 4 – Disposition des électrodes pour des essais sur des matériaux coulés et moulés (diamètre des électrodes sphériques: $d = (20 \pm 0,1)$ mm)



IEC 618/13

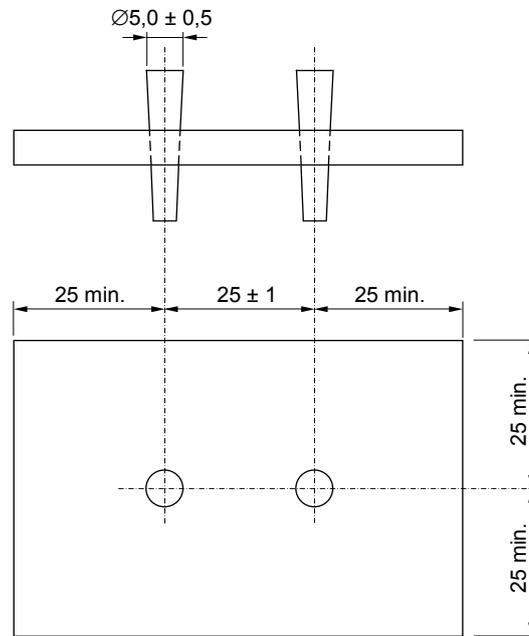
Figure 5 – Disposition des électrodes pour l'essai des parties isolantes façonnées (voir 5.2.7)

Dimensions en millimètres

IEC 619/13

**Figure 6 – Disposition des électrodes pour essais parallèlement à la surface
(et parallèlement aux strates s'il y a lieu)**

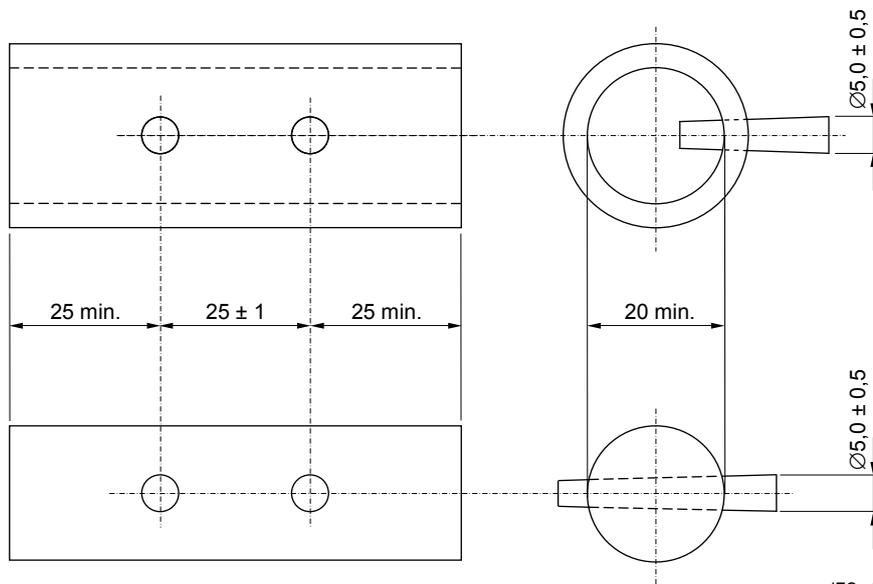
Dimensions en millimètres



IEC 620/13

Figure 7a – Éprouvette plate avec électrodes à broches coniques

Dimensions en millimètres



IEC 621/13

Figure 7b – Éprouvettes tubulaires et tiges cylindriques avec électrodes à broches coniques

Figure 7 – Disposition des électrodes à broches coniques pour essais parallèlement à la surface des matériaux (et parallèlement aux strates s'il y a lieu)

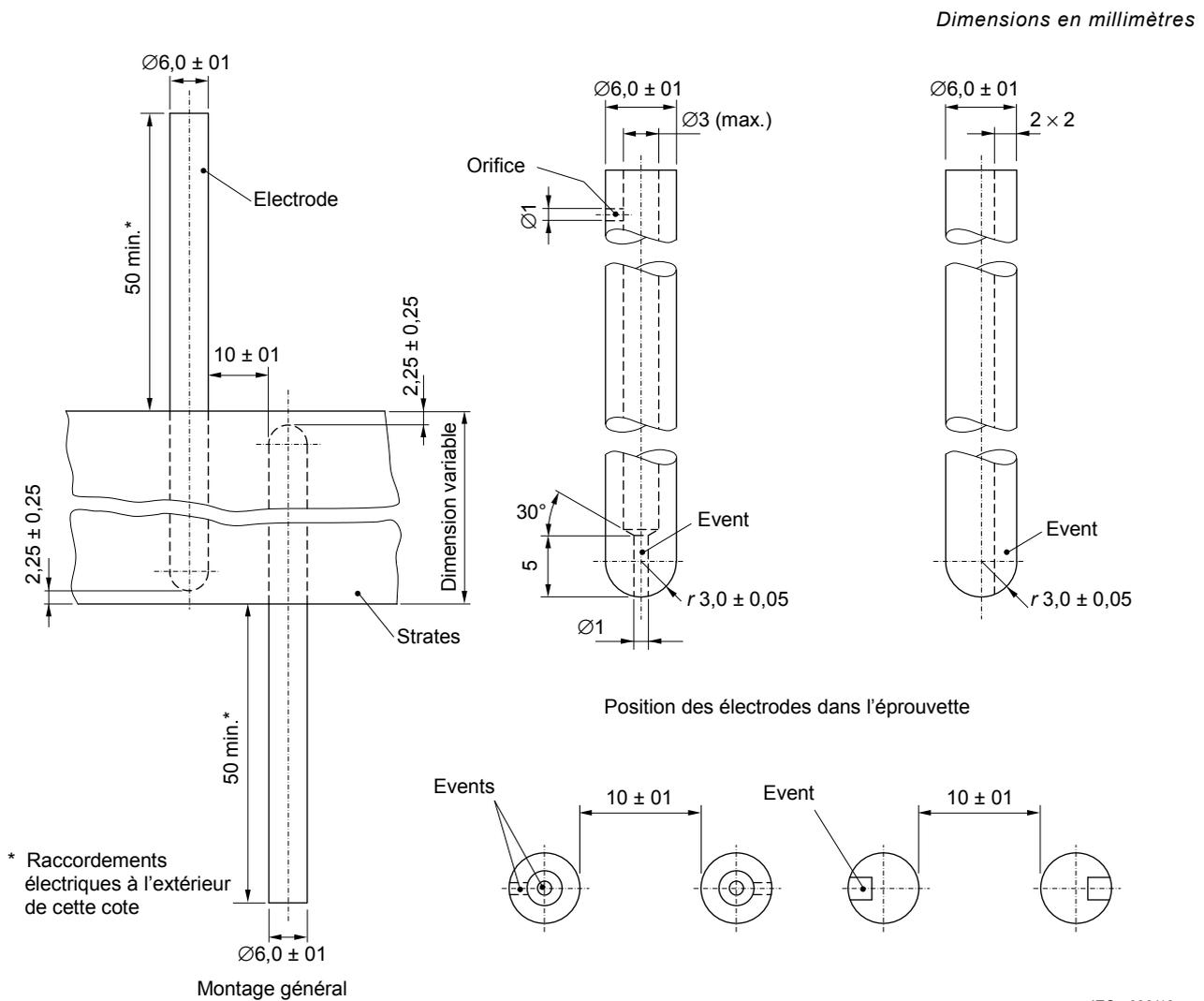


Figure 8 – Dispositif pour les essais effectués parallèlement aux strates avec électrodes cylindriques parallèles (planches > 15 mm d'épaisseur) (voir 5.3.4)

Annexe A (informative)

Traitement des résultats expérimentaux

Pour les essais de routine, le mode opératoire indiqué à l'Article 12 est normalement adapté à l'analyse et au compte rendu des résultats. Cependant, beaucoup d'études de recherche nécessitent plus d'informations sur la réaction des matériaux aux contraintes électriques. Ainsi un nombre plus élevé d'éprouvettes et une évaluation plus poussée des résultats d'essai peuvent être nécessaires.

Des modes opératoires prévus pour élaborer, dans ces cas, des modes opératoires et analyser les résultats ont été publiés. Certains d'entre eux figurent dans la Bibliographie.

Bibliographie

CEI 60674-2, *Spécification pour les films en matière plastique à usages électriques – Partie 2: Méthodes d'essai*

CEI/TR 60727-1, *Évaluation de l'endurance électrique des systèmes d'isolation électrique – Partie 1: Considérations générales et procédures d'évaluation basées sur une distribution normale*
(retirée)

CEI/TR 60727-2:1993, *Évaluation de l'endurance électrique des systèmes d'isolation électrique – Partie 2: Procédures d'évaluation basées sur une distribution de valeurs extrêmes*
(retirée)

IEC 62539:2007, *Guide for the statistical analysis of electrical insulation breakdown data*
(disponible en anglais seulement)

IEEE 930-1987 (R1995) *IEEE guide for statistical analysis of electrical insulation voltage endurance data* (disponible auprès d'IEEE Operations Center, 445 Hoe Lane, P.O. Box 1331, Piscataway, NJ 08855-1331, USA, ou dans certains pays à l'extérieur des États-Unis, dans les bureaux du Global Info Center)

Special Technical Publication 926, Engineering Dielectrics, Volume IIB: *Electrical Properties of Solid Insulating Materials: Measurement Techniques – Chapter 7: Statistical Methods for the Evaluation of Electrical Insulating Systems*, American Society for Testing and Materials, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, USA

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