

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60893-2

Deuxième édition
Second edition
2003-06

**Stratifiés industriels rigides en planches
à base de résines thermodurcissables
à usages électriques –**

**Partie 2:
Méthodes d'essai**

**Industrial rigid laminated sheets
based on thermosetting resins
for electrical purposes –**

**Part 2:
Methods of test**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60893-2:2003

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions consolidées

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

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique. Des renseignements relatifs à cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- Site web de la CEI (www.iec.ch)
- Catalogue des publications de la CEI

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut.htm) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- IEC Just Published

Ce résumé des dernières publications parues (http://www.iec.ch/online_news/justpub/jp_entry.htm) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- Service clients

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Further information on IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology. Information relating to this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- IEC Web Site (www.iec.ch)
- Catalogue of IEC publications

The on-line catalogue on the IEC web site (http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut.htm) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- IEC Just Published

This summary of recently issued publications (http://www.iec.ch/online_news/justpub/jp_entry.htm) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- Customer Service Centre

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

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

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60893-2

Deuxième édition
Second edition
2003-06

**Stratifiés industriels rigides en planches
à base de résines thermodurcissables
à usages électriques –**

**Partie 2:
Méthodes d'essai**

**Industrial rigid laminated sheets
based on thermosetting resins
for electrical purposes –**

**Part 2:
Methods of test**

© IEC 2003 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

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

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

V

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	8
1 Domaine d'application	10
2 Références normatives	10
3 Conditionnement des éprouvettes	12
4 Dimensions	12
4.1 Epaisseur	12
4.2 Planéité	14
5 Essais mécaniques	14
5.1 Résistance à la flexion	14
5.2 Module d'élasticité en flexion	16
5.3 Résistance à la compression	16
5.4 Résistance au choc	18
5.5 Résistance au cisaillement parallèlement au plan de la stratification	20
5.6 Résistance à la traction	20
6 Essais électriques	22
6.1 Rigidité diélectrique et tension de claquage	22
6.2 Permittivité et facteur de dissipation	24
6.3 Résistance d'isolement après immersion dans l'eau	44
6.4 Indices de résistance et de tenue au cheminement	46
6.5 Résistance au cheminement et à l'érosion	46
7 Essais thermiques	48
7.1 Endurance thermique	48
7.2 Inflammabilité	48
8 Autres essais	48
8.1 Masse volumique	48
8.2 Absorption d'eau	50
Annexe A (informative) Modes de représentation de la capacité	62
Annexe B (informative) Valeurs de permittivité connues des liquides	64
Bibliographie	66
Figure 1a – Eprouvette pour l'essai de résistance au choc Charpy	52
Figure 1b – Eprouvette pour l'essai de résistance au choc Izod	52
Figure 2 – Dispositif d'essai de résistance au cisaillement parallèle	54
Figure 3 – Exemple de système d'électrodes pour la méthode A	56
Figure 4 – Exemple de système d'électrodes pour la méthode B	58
Figure 5 – Exemple de système d'électrodes pour la méthode C	60
Figure A.1 – Equivalence des représentations série et parallèle d'un condensateur	62
Tableau 1 – Séquence employée pour les mesures de routine	40

CONTENTS

FOREWORD	5
INTRODUCTION	9
1 Scope	11
2 Normative references	11
3 Conditioning of test specimens	13
4 Dimensions	13
4.1 Thickness	13
4.2 Flatness	15
5 Mechanical tests	15
5.1 Flexural strength	15
5.2 Modulus of elasticity in flexure	17
5.3 Compressive strength	17
5.4 Impact strength	19
5.5 Shear strength parallel to laminations	21
5.6 Tensile strength	21
6 Electrical tests	23
6.1 Electric strength and breakdown voltage	23
6.2 Permittivity and dissipation factor	25
6.3 Insulation resistance after immersion in water	45
6.4 Comparative and proof tracking indices	47
6.5 Tracking and erosion resistance	47
7 Thermal tests	49
7.1 Thermal endurance	49
7.2 Flammability	49
8 Other tests	49
8.1 Density	49
8.2 Water absorption	51
Annex A (informative) Modes of representation of capacitance	63
Annex B (informative) Liquids of known permittivity values	65
Bibliography	67
Figure 1a – Test specimen for Charpy impact strength test	53
Figure 1b – Test specimen for Izod impact strength test	53
Figure 2 – Device for testing parallel shearing strength	55
Figure 3 – Example of electrode system for method A	57
Figure 4 – Example of electrode system for method B	59
Figure 5 – Example of electrode system for method C	61
Figure A.1 – Equivalent parallel and series representation of a capacitor	63
Table 1 – Sequence employed for routine measurements	41

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

STRATIFIÉS INDUSTRIELS RIGIDES EN PLANCHES À BASE DE RÉSINES THERMODURCISSABLES À USAGES ÉLECTRIQUES –

Partie 2: Méthodes d'essai

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 60893-2 a été établie par le sous-comité 15C: Spécifications, du comité d'études 15 de la CEI: Matériaux isolants.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1992 dont elle constitue une révision technique.

Les modifications majeures effectuées au cours de la révision de la série de la CEI 60893 ont été les suivantes:

- a) de nouveaux matériaux ont été introduits;
- b) des modifications ont été faites aux prescriptions pour les propriétés de certains types existants;
- c) des modifications ont été faites aux prescriptions pour les propriétés de certains types existants;
- d) pour chaque type, les valeurs n'étant pas des spécifications ont été déplacées dans un nouveau document de la Partie 4 de la CEI 60893.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**INDUSTRIAL RIGID LAMINATED SHEETS
BASED ON THERMOSETTING RESINS
FOR ELECTRICAL PURPOSES –****Part 2: Methods of test**

FOREWORD

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

International Standard IEC 60893-2 has been prepared by subcommittee 15C: Specifications, of IEC technical committee 15: Insulating materials.

This second edition cancels and replaces the first edition, published in 1992, and constitutes a technical revision.

The major changes during the revision of series of the IEC 60893 were the following:

- a) new material types have been included;
- b) changes have been made to the property requirements of some existing types;
- c) a new method for testing permittivity and dissipation factor has been added;
- d) all non-specification data for each type has been moved to a new Part 4 of IEC 60893.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
15C/1488/FDIS	15C/1514/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.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2005. A cette date, la publication sera

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60893-2:2003

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

FDIS	Report on voting
15C/1488/FDIS	15C/1514/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.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2005. At this date, the publication will be

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60893-2:2003

INTRODUCTION

La présente partie de la CEI 60893 est l'une des normes qui constituent une série traitant des stratifiés industriels rigides en planches à base de résines thermodurcissables à usages électriques.

Cette série comporte quatre parties:

- Partie 1: Définitions, désignations et prescriptions générales (CEI 60893-1)
- Partie 2: Méthodes d'essai (CEI 60893-2)
- Partie 3: Spécifications pour matériaux particuliers (CEI 60893-3)
- Partie 4: Valeurs typiques (CEI 60893-4)

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60893-2:2003

INTRODUCTION

This part of IEC 60893 is one of a series which deals with industrial rigid laminated sheets based on thermosetting resins for electrical purposes.

This series consists of four parts:

- Part 1: Definitions, designations and general requirements (IEC 60893-1)
- Part 2: Methods of test (IEC 60893-2)
- Part 3: Specifications for individual materials (IEC 60893-3)
- Part 4: Typical values (IEC 60893-4)

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60893-2:2003

STRATIFIÉS INDUSTRIELS RIGIDES EN PLANCHES À BASE DE RÉSINES THERMODURCISSABLES À USAGES ÉLECTRIQUES –

Partie 2: Méthodes d'essai

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60893 décrit les méthodes d'essai applicables aux matériaux définis dans la CEI 60893-1 (citée aussi comme Partie 1).

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60112, *Méthode pour déterminer les indices de résistance et de tenue au cheminement des matériaux isolants solides dans des conditions humides*

CEI 60167:1964, *Méthodes d'essai pour la détermination de la résistance d'isolement des isolants solides*

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

CEI 60216-1:2001, *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique – Partie 1: Méthodes de vieillissement et évaluation des résultats d'essai*

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

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

CEI 60296:1982, *Spécification des huiles minérales isolantes neuves pour transformateurs et appareillage de connexion*

CEI 60587:1984, *Méthodes d'essai pour évaluer la résistance au cheminement et à l'érosion des matériaux isolants électriques utilisés dans des conditions ambiantes sévères*

CEI 60695-11-10:1999, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 11-10: Flammes d'essai – Méthodes d'essai horizontale et verticale à la flamme de 50 W*

CEI 60893-1, *Stratifiés industriels rigides en planches à base de résines thermodurcissables à usages électriques – Partie 1: Définitions, désignations et conditions générales*¹

¹ Utiliser l'édition 2 dès sa publication.

INDUSTRIAL RIGID LAMINATED SHEETS BASED ON THERMOSETTING RESINS FOR ELECTRICAL PURPOSES –

Part 2: Methods of test

1 Scope

This part of IEC 60893 describes methods of test for the materials defined in IEC 60893-1 (referred to also as Part 1).

2 Normative references

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

IEC 60112, *Method for determining the comparative and the proof tracking indices of solid insulating materials under moist conditions*

IEC 60167:1964, *Methods of test for the determination of the insulation resistance of solid insulating materials*

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

IEC 60216-1:2001, *Electrical insulating materials – Properties of thermal endurance – Part 1: Ageing procedures and evaluation of test results*

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

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

IEC 60296:1982, *Specification for unused mineral insulating oils for transformers and switchgear*

IEC 60587:1984, *Test method for evaluating resistance to tracking and erosion of electrical insulating materials used under severe ambient conditions*

IEC 60695-11-10:1999, *Fire hazard testing – Part 11-10: Test flames – 50 W horizontal and vertical flame test methods*

IEC 60893-1, *Industrial rigid laminated sheets based on thermosetting resins for electrical purposes – Part 1: Definitions, designations and general requirements*¹

¹ Use edition 2 when published.

CEI 60893-3 (toutes les parties 3), *Stratifiés industriels rigides en planches à base de résines thermodurcissables à usages électriques – Partie 3: Spécification pour matériaux particuliers*

CEI 60893-4:2003, *Stratifiés industriels rigides en planches à base de résines thermodurcissables à usages électriques – Partie 4: Valeurs typiques*

ISO 62:1999, *Plastiques – Détermination de l'absorption d'eau*

ISO 178:2001, *Plastiques – Détermination des propriétés en flexion*

ISO 179-1:2000, *Plastiques – Détermination des caractéristiques au choc Charpy – Partie 1: Essai de choc non instrumenté*

ISO 179-2:1997, *Plastiques – Détermination des caractéristiques au choc Charpy – Partie 2: Essai de choc instrumenté*

ISO 180:2000, *Plastiques – Détermination de la résistance au choc Izod*

ISO 527-1:1993, *Plastiques – Détermination des propriétés en traction -- Partie 1: Principes généraux*

ISO 527-4:1997, *Plastiques – Détermination des propriétés en traction – Partie 4: Conditions d'essai pour les composites plastiques renforcés de fibres isotropes et orthotropes*

ISO 604:2002, *Plastiques – Détermination des propriétés en compression*

ISO 1183:1987, *Plastiques – Méthodes pour déterminer la masse volumique et la densité relative des plastiques non alvéolaires*

ISO 3611:1978, *Micromètres d'extérieur*

3 Conditionnement des éprouvettes

Sauf spécification contraire, les éprouvettes d'essai doivent être conditionnées pendant au moins 24 h en atmosphère normale B selon la CEI 60212 (température $23\text{ °C} \pm 2\text{ K}$, humidité relative $(50 \pm 5)\%$).

Sauf spécification contraire, l'essai de chaque éprouvette doit être fait dans l'atmosphère de conditionnement et à la température de conditionnement, ou alors les essais doivent commencer dans les 3 min suivant la sortie de chaque éprouvette de l'atmosphère de conditionnement.

Quand un essai à température élevée est prescrit dans l'une des feuilles de spécification de la CEI 60893-3, les éprouvettes doivent être conditionnées pendant 1 h à cette température élevée, immédiatement avant l'essai.

4 Dimensions

4.1 Epaisseur

4.1.1 Généralités

Toute méthode permettant la mesure de la planche stratifiée en un nombre de points approprié peut être utilisée, pourvu que le matériel employé et la méthode de mesure permettent une précision de 0,01 mm ou mieux.

IEC 60893-3 (all parts 3), *Industrial rigid laminated sheets based on thermosetting resins for electrical purposes – Part 3: Specifications for individual materials*

IEC 60893-4:2003, *Industrial rigid laminated sheets based on thermosetting resins for electrical purposes – Part 4: Typical values*

ISO 62:1999, *Plastics – Determination of water absorption*

ISO 178:2001, *Determination of flexural properties*

ISO 179-1:2000, *Plastics – Determination of Charpy impact properties – Part 1: Non-instrumented impact test*

ISO 179-2:1997, *Plastics – Determination of Charpy impact properties – Part 2: Instrumented impact test*

ISO 180:2000, *Plastics – Determination of Izod impact strength*

ISO 527-1: 1993, *Plastics – Determination of tensile properties – Part 1: General principles*

ISO 527-4:1997, *Plastics – Determination of tensile properties – Part 4: Test conditions for isotropic and orthotropic fibre-reinforced plastic composites*

ISO 604:2002, *Plastics – Determination of compressive properties*

ISO 1183:1987, *Plastics – Methods for determining the density and relative density of non-cellular plastics*

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

3 Conditioning of test specimens

Unless otherwise specified, test specimens shall be conditioned for at least 24 h in standard atmosphere B according to IEC 60212 (temperature $23\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ relative humidity $(50 \pm 5)\%$).

Unless otherwise specified, each specimen shall be tested in the conditioning atmosphere and at the conditioning temperature, or the tests shall commence within 3 min of removal of each test specimen from the conditioning atmosphere.

Where testing at an elevated temperature is required in one of the specification sheets of IEC 60893-3, test specimens shall be conditioned for 1 h at that elevated temperature immediately before testing.

4 Dimensions

4.1 Thickness

4.1.1 General

Any method which enables the thickness of the laminated sheet to be measured at an appropriate number of points may be used, provided that the equipment used and the method of measurement are capable of a precision of 0,01 mm or better.

Il a été démontré que la méthode de référence suivante était appropriée et elle doit être utilisée en cas de contestation.

4.1.2 Appareillage d'essai pour la méthode de référence

En cas de contestation, un micromètre d'extérieur selon l'ISO 3611, avec des touches de mesure d'un diamètre de 6 mm à 8 mm, doit être utilisé.

4.1.3 Méthode d'essai pour la méthode de référence

Mesurer l'épaisseur de la planche stratifiée rigide à l'état de livraison à 0,01 mm près, en huit points à raison de deux sur chacun des côtés et à au moins 20 mm du bord.

4.1.4 Expression des résultats

Consigner les valeurs minimale et maximale ainsi que la moyenne arithmétique, de toutes les valeurs mesurées, en mm.

4.2 Planéité

4.2.1 Généralités

Cet essai s'applique à toutes les planches d'épaisseur supérieure ou égale à 3 mm.

4.2.2 Eprouvettes

L'éprouvette doit être la planche entière ou le panneau en essai, à l'état de réception.

4.2.3 Méthode d'essai

Lorsqu'une planche d'épaisseur nominale de 3,0 mm ou plus est posée sans contrainte, la face concave au-dessus, sur une surface plane, la distance d'un point quelconque de la surface supérieure à une règle rigide légère, d'une longueur de 1000 mm ou de 500 mm, déposée sur celle-ci dans n'importe quel sens, ne doit pas dépasser la valeur donnée dans la feuille correspondante de la CEI 60893-3 applicable au matériau considéré, à son épaisseur et à la longueur de la règle. La masse de la règle de 1000 mm ne doit pas excéder 800 g, et la masse de la règle de 500 mm ne doit pas excéder 400 g.

4.2.4 Expression des résultats

Consigner l'écart maximal à la planéité, en mm.

NOTE Au cas où la planche diffère de la planéité dans les deux directions, et est voilée, mesurer les deux déviations et donner les résultats de la mesure la plus élevée.

5 Essais mécaniques

5.1 Résistance à la flexion

5.1.1 Généralités

La résistance à la flexion est définie comme étant la contrainte de flexion à la rupture. Elle doit être déterminée selon la méthode spécifiée dans l'ISO 178.

5.1.2 Eprouvettes

Découper les éprouvettes dans la planche à soumettre à l'essai, leurs axes principaux étant parallèles aux côtés de la planche. Essayer cinq éprouvettes dans chaque direction, sauf pour les types ayant leurs fibres alignées principalement dans la même direction. Dans ce cas, découper seulement cinq éprouvettes, leur axe longitudinal étant parallèle à la direction des fibres.

The following reference method has been shown to be suitable and shall be used in cases of dispute.

4.1.2 Test apparatus for reference method

In case of dispute, an external screw type micrometer according to ISO 3611 having faces with diameters between 6 mm and 8 mm shall be used.

4.1.3 Procedure for reference method

Measure the thickness of the rigid laminated sheet as delivered to the nearest 0,01 mm at eight points, two along each edge but not less than 20 mm from the edge.

4.1.4 Results

Report the maximum and minimum measured values and the arithmetic mean of all measured values in mm.

4.2 Flatness

4.2.1 General

This test is applicable to all sheets having a thickness of 3 mm or greater.

4.2.2 Test specimens

The test specimen shall be the whole sheet or panel under test in the 'as received' condition.

4.2.3 Test method

When any sheet of nominal thickness 3,0 mm or more is placed without restraint, concave side up, on a flat surface, the departure at any point of the upper surface of the sheet from a light, straight edge 1 000 mm or 500 mm in length, laid in any direction upon it, shall not exceed the value given in the relevant sheet of IEC 60893-3 appropriate to the material, its thickness and length of straight edge. The mass of the 1 000 mm straight edge shall not exceed 800 g, and the mass of the 500 mm straight edge shall not exceed 400 g.

4.2.4 Results

Report the maximum measured deviation from flatness in mm.

NOTE In cases where the sheet deviates from flatness in two directions, is saddle-shaped, measure both deviations and report the highest.

5 Mechanical tests

5.1 Flexural strength

5.1.1 General

The flexural strength is defined as the flexural stress at rupture. It shall be determined by the method specified in ISO 178.

5.1.2 Test specimens

Cut the test specimens from the sheet to be tested with their major axes parallel to the sides of the sheet. Test five test specimens in each direction, except for types with fibres aligned mainly in the same direction. In such cases, cut five specimens only, with their long axis parallel to the direction of the fibres.

Si la planche à soumettre à l'essai est d'épaisseur nominale supérieure à 10 mm (20 mm dans le cas du type PF WV), réduire l'épaisseur des éprouvettes à 10 mm (20 mm dans le cas du type PF WV).

S'il est nécessaire de réduire l'épaisseur d'une éprouvette, l'usiner en laissant une face de la planche intacte. Dans de tels cas, l'éprouvette doit être essayée avec la surface d'origine de la planche en contact avec les deux supports.

5.1.3 Méthode d'essai

L'essai doit être effectué avec la charge appliquée perpendiculairement au plan de stratification. La vitesse d'essai doit être de 5 mm/min avec une tolérance de $\pm 20\%$.

5.1.4 Expression des résultats

Consigner dans le rapport la moyenne arithmétique des résultats pour chaque direction en Mpa. Prendre la plus petite des deux moyennes comme résistance à la flexion minimale de la planche soumise à l'essai, sauf dans les cas où les fibres sont principalement dans une direction. En pareils cas, prendre la valeur moyenne obtenue dans cette direction.

5.2 Module d'élasticité en flexion

5.2.1 Généralités

La méthode d'essai suivante doit être utilisée pour déterminer le module d'élasticité en flexion.

5.2.2 Eprouvettes

Les éprouvettes doivent avoir la même forme que celle décrite pour l'essai de résistance à la flexion décrit en 5.1.2 ci-dessus.

5.2.3 Méthode d'essai

Le module d'élasticité doit être déterminé selon la méthode spécifiée dans l'ISO 178.

5.2.4 Expression des résultats

Les résultats doivent être exprimés en MPa.

5.3 Résistance à la compression

5.3.1 Généralités

La méthode d'essai suivante doit être utilisée pour déterminer la résistance à la compression.

5.3.2 Eprouvettes

Les éprouvettes doivent être découpées dans la planche en essai, comme décrit dans l'ISO 604.

5.3.3 Méthode d'essai

La résistance à la compression doit être déterminée suivant la méthode spécifiée dans l'ISO 604, avec la charge appliquée perpendiculairement au plan de stratification.

5.3.4 Expression des résultats

Les résultats doivent être exprimés en MPa.

If the nominal thickness of the sheet to be tested is more than 10 mm (20 mm in the case of types PF WV), reduce the thickness of the test specimens to 10 mm (20 mm in the case of PF WV).

When it is necessary to reduce the thickness of a test specimen, machine it, leaving one face of the sheet intact. In such cases, test specimens shall be tested with the original surface of the sheet in contact with the two supports.

5.1.3 Test method

The test shall be carried out with the load applied perpendicular to the plane of the laminations. The test speed shall be 5 mm/min with a tolerance of ± 20 %.

5.1.4 Results

Report the arithmetic mean of the results for each direction in MPa. Take the lower of the two mean values as the minimum flexural strength of the sheet under test, except in cases where the reinforcing fibres run mainly in one direction. In such cases, take the mean value obtained in this direction.

5.2 Modulus of elasticity in flexure

5.2.1 General

The following test method shall be used in order to determine the modulus of elasticity in flexure.

5.2.2 Test specimens

The specimens shall be in the same form as described for the flexural strength test described in 5.1.2 above.

5.2.3 Test method

Modulus of elasticity shall be determined by the method specified in ISO 178.

5.2.4 Results

Results shall be expressed in MPa.

5.3 Compressive strength

5.3.1 General

The following test method shall be used in order to determine the compressive strength.

5.3.2 Test specimens

Specimens shall be cut from the sheet under test as described in ISO 604.

5.3.3 Test method

Compressive strength shall be determined by the method specified in ISO 604 with the load applied perpendicular to the plane of the laminations.

5.3.4 Results

Results shall be expressed in MPa.

5.4 Résistance au choc

5.4.1 Généralités

Cet essai ne s'applique qu'aux planches d'épaisseur nominale égale ou supérieure à 5 mm.

5.4.2 Résistance au choc Charpy

5.4.2.1 Epreuves

Les éprouvettes doivent être découpées dans la planche en essai conformément à la Figure 1a. On doit soumettre à l'essai cinq éprouvettes, d'épaisseur comprise entre 5 mm et 10 mm, dans chaque direction, sauf pour les types dont les fibres sont alignées principalement dans la même direction. En pareils cas, découper seulement cinq éprouvettes, leur axe longitudinal étant parallèle à la direction des fibres.

Si l'épaisseur nominale de la planche soumise à l'essai est plus grande que 10 mm, ramener l'épaisseur des éprouvettes à 10 mm, par usinage de la même quantité sur les deux faces de la planche.

5.4.2.2 Méthode d'essai

La résistance au choc Charpy doit être déterminée dans le sens parallèle au plan de stratification suivant la description de la méthode donnée dans l'ISO 179-1 et dans l'ISO 179-2, à l'exception de l'éprouvette qui doit être telle que décrite ci-dessus et de l'écartement des supports qui doit être de 70 mm. Le matériau doit être essayé avec les axes principaux dans chaque direction parallèle aux côtés de la planche, sauf dans le cas de matériaux dont les fibres sont disposées principalement dans la même direction. Pour ces matériaux, seules des éprouvettes ayant leur axe longitudinal parallèle à la direction des fibres doivent être essayées.

5.4.2.3 Expression des résultats

Consigner dans le rapport la moyenne arithmétique des résultats pour chaque direction, en kJ/m². Prendre la plus petite des deux moyennes comme résistance au choc Charpy minimale de la planche soumise à l'essai, sauf dans les cas où les fibres de renfort sont disposées principalement dans une direction. En pareils cas, prendre la valeur moyenne obtenue dans cette direction.

5.4.3 Résistance au choc Izod

5.4.3.1 Epreuves

Les dimensions des éprouvettes doivent être telles que décrites à la Figure 1b. On doit soumettre à l'essai cinq éprouvettes, d'une épaisseur comprise entre 5 mm et 10 mm, dans chaque direction, sauf pour les types dont les fibres sont alignées principalement dans la même direction. En pareils cas, découper seulement cinq éprouvettes, leur axe longitudinal étant parallèle à la direction des fibres.

Si la planche à soumettre à l'essai a plus de 10 mm d'épaisseur, ramener l'épaisseur des éprouvettes à 10 mm, par usinage de la même quantité sur les deux faces de la planche.

5.4.3.2 Méthode d'essai

La résistance au choc Izod doit être déterminée dans le sens parallèle au plan de stratification suivant la description de la méthode donnée dans l'ISO 180. Le matériau doit être essayé avec les axes principaux dans chaque direction parallèle aux côtés de la planche, sauf dans le cas de matériaux dont les fibres sont disposées principalement dans la même direction. Pour ces matériaux, seules des éprouvettes ayant leur axe longitudinal parallèle à la direction des fibres doivent être essayées.

5.4 Impact strength

5.4.1 General

This test is only applicable to sheets of nominal thickness equal to or greater than 5 mm.

5.4.2 Charpy Impact strength

5.4.2.1 Test specimens

Test specimens shall be cut from the sheet under test in accordance with Figure 1a. Five specimens, with a thickness between 5 mm and 10 mm, shall be tested in each direction, except for types with fibres aligned mainly in the same direction. In such cases, cut five specimens only, with their longitudinal axis parallel to the direction of the fibres.

If the nominal thickness of the sheet to be tested is greater than 10 mm, reduce the thickness of the test specimen to 10 mm by machining equal amounts from both faces of the sheet.

5.4.2.2 Test method

The Charpy impact strength shall be determined in the edgewise direction as described by the method given in ISO 179-1 and ISO 179-2 except that the specimens shall be as described above, and the span shall be 70 mm. The material shall be tested with the major axes in each direction parallel to the sides of the sheet, except in the case of materials whose fibres lie mainly in the same direction. For these materials only specimens with their longitudinal axis parallel to the direction of the fibres shall be tested.

5.4.2.3 Results

Report the arithmetic mean of the results for each direction in kJ/m^2 . Take the lower of the two mean values as the minimum Charpy impact strength of the sheet under test, except in cases where the reinforcing fibres run mainly in one direction. In such cases, take the mean value obtained in this direction.

5.4.3 Izod impact strength

5.4.3.1 Test specimens

The dimensions of the specimens shall be as described in Figure 1b. Five specimens, with a thickness between 5 mm and 10 mm, shall be tested in each direction, except for types with fibres aligned mainly in the same direction. In such cases, cut five specimens only, with their longitudinal axis parallel to the direction of the fibres.

If the nominal thickness of the sheet to be tested is greater than 10 mm, reduce the thickness of the test specimen to 10 mm by machining equal amounts from both faces of the sheet.

5.4.3.2 Test method

The Izod impact strength shall be determined in the edgewise direction as described by the method given in ISO 180. The material shall be tested with the major axes in each direction parallel to the sides of the sheet, except in the case of materials whose fibres lie mainly in the same direction. For these materials only, specimens with their longitudinal axis parallel to the direction of the fibres shall be tested.

5.4.3.3 Expression des résultats

Consigner dans le rapport la moyenne arithmétique des résultats pour chaque direction, en kJ/m². Prendre la plus petite des deux moyennes comme résistance au choc Izod minimale de la planche soumise à l'essai, sauf dans les cas où les fibres de renfort sont disposées principalement dans une direction. En pareils cas, prendre la valeur moyenne obtenue dans cette direction.

5.5 Résistance au cisaillement parallèlement au plan de la stratification

5.5.1 Généralités

L'essai de résistance au cisaillement parallèlement au plan de la stratification procure une valeur qui donne une indication sur le degré d'agglomération ou la cohésion entre couches. L'essai ne peut s'appliquer qu'aux planches d'épaisseurs nominales égales ou supérieures à 5 mm.

5.5.2 Eprouvettes

Des éprouvettes rectangulaires sont découpées aux dimensions suivantes:

Longueur 20 mm ± 0,1 mm

Largeur et épaisseur $5 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,15 \end{smallmatrix}$ mm

Découper les éprouvettes dans la planche du matériau soumis à l'essai avec leurs axes principaux parallèles aux côtés de la planche. Préparer cinq ensembles de deux éprouvettes dans chaque direction.

Les deux éprouvettes de chaque paire doivent avoir des largeurs (dimension dans le sens des couches orthogonales à la longueur) identiques à 0,01 mm près.

5.5.3 Méthode d'essai

Deux éprouvettes sont simultanément soumises à une contrainte de cisaillement dans le dispositif décrit à la Figure 2.

Les éprouvettes doivent être disposées de façon à ce que la contrainte de cisaillement s'exerce parallèlement au plan de la stratification. La vitesse relative de déplacement de la traverse de la machine d'essai doit être de 2 mm/min avec une tolérance de ±20 %.

5.5.4 Expression des résultats

Calculer la résistance au cisaillement en divisant la force de cisaillement par la surface totale de $2 \times 100 \text{ mm}^2$ des plans de cisaillement.

Consigner dans le rapport la moyenne arithmétique des résultats pour chaque direction, en MPa, et prendre la plus petite des deux moyennes comme résistance au cisaillement parallèle de la plaque soumise à l'essai.

5.6 Résistance à la traction

5.6.1 Généralités

La résistance à la traction, définie comme étant la contrainte de traction à l'effort maximal, doit être déterminée selon la méthode spécifiée dans l'ISO 527-4, conjointement avec l'ISO 527-1.

5.4.3.3 Results

Report the arithmetic mean of the results for each direction in kJ/m². Take the lower of the two mean values as the minimum Izod impact strength of the sheet under test, except in cases where the reinforcing fibres run mainly in one direction. In such cases, take the mean value obtained in this direction.

5.5 Shear strength parallel to laminations

5.5.1 General

The shear strength parallel to laminations test provides data that gives an indication of the degree of bonding or adhesion between laminations. The test is only applicable to sheets of nominal thickness greater than 5 mm.

5.5.2 Test specimens

Rectangular test specimens are cut with the following dimensions:

Length 20 mm ± 0,1 mm

Width and thickness $5 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,15 \end{smallmatrix}$ mm

Cut the test specimens from the sheet to be tested with their major axes parallel to the sides of the sheet. Prepare five sets of test specimens for each direction, each set of specimens comprising two pieces.

The two specimens in each pair shall have widths (dimension along the laminations orthogonal to the length) identical within 0,01 mm.

5.5.3 Test method

Two test specimens are simultaneously subjected to shearing stress in the device shown in Figure 2.

The test specimens shall be arranged so that the shearing stress acts in a plane parallel to the laminations. The relative rate of movement of the cross head of the testing machine shall be 2 mm/min with a tolerance of ±20 %.

5.5.4 Results

Calculate the shear strength by dividing the shear force through the total shear plane area of 2×100 mm².

Report the arithmetic mean value of the results for each direction in MPa and take the lower of the two mean values as the parallel shearing strength of the sheet under test.

5.6 Tensile strength

5.6.1 General

Tensile strength defined as tensile stress at maximum load shall be determined by the method specified in ISO 527-4, in conjunction with ISO 527-1.

5.6.2 Epreuves

Les épreuves doivent être découpées dans la planche à essayer, avec les axes principaux dans chaque direction parallèle aux côtés de la planche. Cinq épreuves d'épaisseur nominale comprise entre 1,5 mm et 10,0 mm, doivent être préparées dans chaque direction conformément au type 1 de l'ISO 527-4, sauf dans le cas de matériaux dont les fibres sont disposées principalement dans la même direction. Pour ces matériaux, seules des épreuves ayant leur axe longitudinal parallèle à la direction des fibres doivent être essayées.

Si la planche soumise à l'essai a plus de 10 mm d'épaisseur, ramener l'épaisseur des épreuves à 10 mm par usinage de la même quantité sur les deux faces de la planche.

5.6.3 Méthode d'essai

Exécuter l'essai comme décrit dans l'ISO 527-4. La vitesse de séparation des mâchoires de la machine d'essai doit être de 5 mm/min avec une tolérance de ± 20 %.

5.6.4 Expression des résultats

Consigner dans le rapport la moyenne arithmétique des résultats pour chaque direction en Mpa. Prendre la plus petite des deux moyennes comme résistance à la traction de la planche soumise à l'essai, sauf dans les cas où les fibres de renfort sont disposées principalement dans une direction. En pareils cas, prendre la valeur moyenne obtenue dans cette direction.

6 Essais électriques

6.1 Rigidité diélectrique et tension de claquage

6.1.1 Généralités

La rigidité diélectrique et la tension de claquage doivent être déterminées selon les méthodes spécifiées dans la CEI 60243-1 qui décrit l'essai par paliers et l'essai d'épreuve de 60 s. L'une ou l'autre méthode d'essai peut être utilisée. Sauf spécification contraire, l'essai doit être fait à $90^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ K}$ dans l'huile minérale décrite dans la CEI 60296, raisonnablement exempte de produits de décomposition. Immerger les épreuves, immédiatement avant l'essai, pendant au moins 0,5 h et au plus 1 h, dans l'huile maintenue à cette température.

6.1.2 Epreuves

Pour la rigidité diélectrique, essayer trois épreuves perpendiculairement au plan de la stratification. Pour la tension de claquage, essayer trois épreuves parallèlement au plan de la stratification.

Les épreuves doivent être découpées dans la planche en essai. Les dimensions des épreuves doivent être telles que décrites dans la CEI 60243-1.

6.1.3 Méthode d'essai

Le matériau doit être soumis à l'essai en utilisant soit la méthode des paliers de 20 s décrite dans en 9.2 de la CEI 60243-1, soit l'essai d'épreuve de 60 s décrit en 9.6 de la CEI 60243-1.

6.1.3.1 Rigidité diélectrique perpendiculairement au plan de la stratification

Pour les épaisseurs inférieures ou égales à 3 mm, le matériau doit être essayé perpendiculairement au plan de stratification. L'électrode supérieure doit avoir 25 mm de diamètre et l'électrode inférieure doit avoir 75 mm de diamètre, conformément à la CEI 60243-1.

5.6.2 Test specimens

Specimens shall be cut from the sheet under test with the major axis in each direction parallel to the sides of the sheet. Five specimens of nominal thickness between 1,5 mm and 10,0 mm shall be prepared from each direction according to type 1 of ISO 527-4, except in the case of materials whose fibres lie mainly in the same direction. For these materials only specimens with their longitudinal axis parallel to the direction of the fibres shall be tested.

If the sheet to be tested is more than 10 mm thick, reduce the thickness of the test specimens to 10 mm by machining equal amounts from each face.

5.6.3 Test method

Carry out the test as described in ISO 527-4. The rate of separation of the jaws of the testing machine shall be 5 mm/min with a tolerance of ± 20 %.

5.6.4 Results

Report the arithmetic mean of the results for each direction in MPa. Take the lower of the two mean values as the minimum tensile strength of the sheet under test, except in cases where the reinforcing fibres run mainly in one direction. In such cases, take the mean value obtained in this direction.

6 Electrical tests

6.1 Electric strength and breakdown voltage

6.1.1 General

Electric strength and breakdown voltage shall be determined by the methods specified in IEC 60243-1, which describes both the step-by-step and 60 s proof tests. Either test method may be used. Unless otherwise specified the test shall be carried out at $90\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ K}$ in mineral oil as described in IEC 60296, which is reasonably free from decomposition products. Immerse the specimens in oil maintained at that temperature for not less than 0,5 h and not more than 1 h immediately before test.

6.1.2 Test specimens

For electric strength, test three specimens normal to laminations. For breakdown voltage, test three specimens parallel to the laminations.

Test specimens shall be cut from the sheet under test. Specimen dimensions shall be as described in IEC 60243-1.

6.1.3 Test method

Test the material using either the 20 s step-by-step test as described in 9.2 of IEC 60243-1, or using the 60 s proof test as described in 9.6 of IEC 60243-1.

6.1.3.1 Electric strength perpendicular to laminations

For thicknesses not greater than 3 mm, the material shall be tested perpendicular to the laminations. The upper electrode shall be 25 mm in diameter and the lower electrode shall be 75 mm in diameter according to IEC 60243-1.

NOTE Cet essai n'est généralement pas requis pour les épaisseurs supérieures à 3 mm, dans la série des Parties 3. Lorsque cela est requis, ramener l'épaisseur des éprouvettes à 3 mm par usinage d'une face, conformément à 4.1.1.3 de la CEI 60243-1, et appliquer la prescription de l'épaisseur correspondant à 3 mm.

6.1.3.2 Tension de claquage parallèlement au plan de la stratification

Pour les épaisseurs supérieures à 3 mm et inférieures ou égales à 10 mm, le matériau doit être essayé parallèlement au plan de stratification, selon 4.2.2 de la CEI 60243-1 (électrodes à broches coniques) ou selon 4.2.1.1 de la CEI 60243-1 (électrodes plaques parallèles), et pour les épaisseurs supérieures à 10 mm selon 4.2.1.1 de la CEI 60243-1 (électrodes plaques parallèles). Pour les types dont les fibres sont principalement dans la même direction, l'essai doit être fait dans la direction des fibres.

6.1.3.3 Expression des résultats

Pour chacun des essais ci-dessus, la moyenne arithmétique des résultats d'essais doit être prise comme résultat. La valeur minimale doit aussi être consignée dans le rapport. Les résultats de l'essai de rigidité diélectrique perpendiculairement au plan de la stratification doivent être consignés en kV/mm et les résultats de l'essai de tension de claquage parallèlement au plan de la stratification doivent être consignés en kV.

6.2 Permittivité et facteur de dissipation

6.2.1 Prescriptions générales

La permittivité et le facteur de dissipation peuvent être déterminés suivant n'importe laquelle des trois méthodes indiquées dans cet article. Sauf indication contraire dans les feuilles correspondantes de la CEI 60893-4, les éprouvettes doivent être conditionnées pendant (96 ± 1) h, dans l'air, à une température de $105 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5 \text{ K}$ avec une humidité relative inférieure à 20 % (atmosphère chaude sèche standard suivant la CEI 60212). A la fin de cette période, laisser les éprouvettes refroidir à température ambiante dans un dessiccateur. Appliquer les électrodes et/ou faire les mesures dans les 10 min suivant la sortie de chaque éprouvette du dessiccateur.

Lorsque des électrodes solidaires de l'éprouvette sont requises, de la peinture à l'argent doit être appliquée au centre de l'éprouvette. Des électrodes en caoutchouc conducteur, des électrodes obtenues par vaporisation ou par pulvérisation ne doivent pas être utilisées.

Sauf spécification contraire, les mesures doivent être faites à une température de $23 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ K}$, aux fréquences industrielles de 48 Hz à 62 Hz ou à la fréquence radioélectrique de 1 MHz.

Pour s'assurer que les éprouvettes, les électrodes et le fluide d'immersion sont en équilibre thermique avec leur environnement pendant la mesure, il convient qu'ils soient maintenus à la température de mesure pendant au moins 0,5 h immédiatement avant la mesure. La tension doit être suffisamment élevée pour fournir la sensibilité requise, mais suffisamment basse pour éviter un chauffage diélectrique et des décharges aux bords des électrodes.

Pour l'ensemble des trois méthodes, l'essai doit être effectué sur deux éprouvettes, sauf spécification contraire. A tout moment, les éprouvettes doivent être manipulées avec des pinces plates en acier inoxydable pour minimiser les possibilités d'endommagement ou de contamination.

La moyenne des deux déterminations doit être prise comme résultat.

NOTE 1 Dans l'ensemble, les trois méthodes décrites peuvent être utilisées pour des matériaux en plaques dans la gamme d'épaisseurs de 0,3 mm à 12,0 mm en fonction de la conception des supports d'éprouvette et des électrodes, mais la précision de chaque méthode est influencée par les dimensions et les propriétés de l'éprouvette.

NOTE 2 Il convient de se référer à la CEI 60250 pour des renseignements et explications complémentaires.

NOTE This test is usually not required for thicknesses above 3 mm, in the Part 3 series. When it is required, reduce the thickness of the specimens to 3 mm by machining one face according to 4.1.1.3 of IEC 60243-1, and use the requirement of the 3 mm thickness.

6.1.3.2 Breakdown voltage parallel to laminations

For thicknesses above 3 mm and less than or equal to 10 mm, the material shall be tested edgewise in accordance with 4.2.2 of IEC 60243-1 (taper pin electrodes) or with 4.2.1.1 of IEC 60243-1, (parallel plate electrodes), and for thicknesses above 10 mm in accordance with 4.2.1.1 of IEC 60243-1 (parallel plate electrodes). For types with their fibres mainly in the same direction the test shall be carried out in the fibre direction.

6.1.3.3 Results

For each of the above tests, the arithmetic mean of the test results shall be taken as the result. The minimum value shall also be reported. Results of the electric strength perpendicular to lamination test shall be reported in kV/mm, and the results of the breakdown voltage test parallel to laminations, shall be reported in kV.

6.2 Permittivity and dissipation factor

6.2.1 General requirements

Permittivity and dissipation factor may be determined by any one of the three methods given in this clause. Unless otherwise indicated in the relevant clauses of IEC 60893-4, the specimens shall be conditioned for (96 ± 1) h in air at a temperature of $105^\circ\text{C} \pm 5\text{ K}$ with a relative humidity of less than 20 % (dry hot standard atmosphere according to IEC 60212). At the end of this time, allow the specimens to cool to room temperature in a desiccator. Apply the electrodes, and/or otherwise make the measurements within 10 min of removal of each specimen from the desiccator.

Where intimate electrodes are required, silver paint shall be painted centrally on the test specimen. Conducting rubber, evaporated and sputtered electrodes shall not be used.

Unless otherwise specified, measurements shall be made at a temperature of $23^\circ\text{C} \pm 2\text{ K}$ at a power frequency between 48 Hz and 62 Hz or at a radio frequency of 1 MHz.

To ensure that the specimens, the electrodes and the immersion fluid are in thermal equilibrium with their environment during the measurement, they should all be kept at the measurement temperature for not less than 0,5 h immediately before the measurement. The test voltage shall be high enough to provide the required sensitivity, but low enough to avoid dielectric heating and discharges at the edges of the electrodes.

In all three methods, the test shall be carried out on two test specimens unless otherwise specified. At all times, the specimens shall be handled with stainless steel flat-faced forceps to minimize the likelihood of damage or contamination.

The average of the two determinations shall be taken as the result.

NOTE 1 In total, the three methods described may be used for sheet materials in the thickness range 0,3 mm to 12,0 mm, dependent upon the design of the specimen holders and electrodes, but the precision of each method is influenced by specimen dimensions and properties.

NOTE 2 Reference to IEC 60250 should be made for additional guidance and clarification.

6.2.2 Méthodes

Méthode A – Méthode de mesure directe utilisant des électrodes solidaires de l'éprouvette

Méthode B – Technique de substitution dans l'air, sans électrodes solidaires de l'éprouvette

Méthode C – Technique par immersion dans deux fluides, sans électrodes solidaires de l'éprouvette

La méthode A convient pour des matériaux en plaques de permittivité inférieure ou égale à 10,0 et des facteurs de dissipation supérieurs à 50×10^{-6} , ayant une épaisseur dans la gamme de 0,3 mm à 12,0 mm, en fonction de la conception des supports d'éprouvette. La méthode A nécessite une connaissance précise de l'épaisseur de l'éprouvette et il convient de l'utiliser dans tous les cas où cette information est disponible. Voir 6.2.3.

La méthode B convient pour des matériaux en plaques de permittivité inférieure ou égale à 10,0 mais manque de précision suffisante pour des matériaux ayant un facteur de dissipation inférieur à 250×10^{-6} . La méthode B nécessite une connaissance précise de l'épaisseur de l'éprouvette et peut être utilisée à la place de la méthode A quand cette information est disponible. En fonction de la conception des supports d'éprouvette, les éprouvettes ayant une épaisseur dans la gamme de 0,3 mm à 12,0 mm peuvent être essayées.

La méthode C convient pour des matériaux de permittivité inférieure ou égale à 10,0 mais peut montrer un manque de précision pour des matériaux ayant un facteur de dissipation inférieur à 250×10^{-6} . Si l'épaisseur n'est pas connue avec suffisamment de précision, la méthode C peut être utilisée avec la restriction que la méthode nécessite l'utilisation d'un liquide inerte ayant approximativement la même permittivité que l'éprouvette.

La méthode C par immersion permet une meilleure précision pour la permittivité des matériaux en plaques d'épaisseur 0,3 mm à 1,0 mm et présente l'avantage qu'une connaissance précise de l'épaisseur de l'éprouvette n'est pas nécessaire, mais elle ne convient pas pour des matériaux ayant une structure à cellules ouvertes.

6.2.3 Principe des méthodes

Dans les méthodes décrites, l'ensemble d'électrodes est partie intégrante du support d'éprouvette dans lequel celui-ci est placé. Dans la méthode A, les électrodes support sont en contact avec les électrodes solidaires et les propriétés de l'éprouvette sont mesurées avec l'éprouvette formant un condensateur simple. L'avantage spécifique de la méthode A est que ces mesures peuvent être faites à température élevée, en étant limité uniquement par les propriétés thermiques de l'éprouvette.

Dans les méthodes B et C, l'éprouvette et le ou les fluides isolants appropriés sont introduits dans le support d'éprouvette, la capacité et le facteur de dissipation de l'ensemble étant mesurés. De tels systèmes introduisent de plus faibles erreurs de mesure que des électrodes solidaires, et facilitent l'installation d'électrodes de garde qui minimisent les distorsions de champ électrique et les capacités parasites.

Des systèmes d'électrodes convenables pour chacune des méthodes sont décrits en 6.2.5.2, en 6.2.6.2 et en 6.2.7.2. Des instruments de mesure convenables sont décrits en 6.2.4.

NOTE La permittivité et le facteur de dissipation d'un diélectrique peuvent varier considérablement avec la fréquence, la température et l'humidité relative. En conséquence, il convient que les valeurs mesurées ne soient prises que pour indiquer les propriétés de l'éprouvette dans des conditions similaires à celles utilisées pour l'essai.

6.2.2 Methods

Method A – A direct measuring method utilizing intimate electrodes

Method B – An air substitution technique without intimate electrodes

Method C – A two-fluid immersion technique without intimate electrodes

Method A is suitable for sheet materials of permittivity up to 10,0 and dissipation factors greater than 50×10^{-6} , having thicknesses in the range 0,3 mm to 12,0 mm, dependent upon the design of the specimen holders. Method A requires an accurate knowledge of the specimen thickness and may be used in all cases when this information is available. See 6.2.3.

Method B is suitable for sheet materials of permittivity up to 10,0 but may lack sufficient precision for materials of dissipation factor below 250×10^{-6} . Method B requires an accurate knowledge of the specimen thickness and may be used in place of method A when this information is available. Dependent upon the design of the specimen holders, specimens with thicknesses in the range 0,3 mm to 12,0 mm can be tested.

Method C is suitable for materials of permittivity up to 10,0 but may show a lack of precision for materials of dissipation factor below 250×10^{-6} . If the thickness is not sufficiently accurately known, method C may be used subject to the limitation that the method requires use of an inert liquid of approximately the same permittivity as the specimen.

The immersion method, C, is capable of better precision for permittivity for sheet materials of thickness 0,3 mm to 1,0 mm and has the advantage that accurate knowledge of the specimen thickness is not required, but it is not suitable for materials with an open cell structure.

6.2.3 Principles of the methods

In the methods described, the electrode assembly is an integral part of the specimen holder into which the specimen is placed. In method A, backing electrodes make contact with the intimate electrodes and the properties of the specimen are measured with the specimen in the form of a simple capacitor. The specific advantage of method A is that measurements may be made at elevated temperatures, limited only by the thermal properties of the specimen.

In Methods B and C, the specimen and appropriate insulating fluid(s) are introduced into the specimen holder, the capacitance and dissipation factor of the assembly being measured. Such systems introduce smaller errors in measurement than those using intimately applied electrodes, and facilitate the easier provision of guard electrodes that minimize electric field distortions and stray capacitances.

Suitable electrode systems for each of the methods are described in 6.2.5.2, 6.2.6.2 and 6.2.7.2. Suitable measuring instruments are described in 6.2.4.

NOTE The permittivity and dissipation factor of a dielectric may change considerably with frequency, temperature and relative humidity. Accordingly, the measured values should only be taken to indicate the dielectric properties of the specimen under conditions similar to those used for the test.

6.2.4 Instruments de mesure

Des instruments de sensibilité appropriée doivent être utilisés. Des variations perceptibles minimales de capacité de 0,3 fF ($= 0,3 \times 10^{-15}$ F) et des variations perceptibles minimales du facteur de dissipation de 0,000 01 ($= 10 \times 10^{-6}$) ont été jugées acceptables.

NOTE 1 Une variété de modes de sortie de l'information est offerte par les instruments de mesure du commerce. Quelques-uns des plus sophistiqués offrent une variété de possibilités de sorties sur le même instrument ce qui permet à l'utilisateur de choisir la sortie appropriée. La présente norme suppose que la sortie est de la forme d'une capacité (C, en pF) et d'un facteur de dissipation ($\tan\delta$). Voir l'Annexe A pour la conversion d'autres formes de sorties dans ce format.

NOTE 2 Les systèmes d'électrodes décrits dans les méthodes A, B et C sont de conception «gardée», à trois bornes. Cela élimine pratiquement l'influence de champs électriques parasites au bord des électrodes et élimine le besoin de corrections pour la «capacité de bords».

NOTE 3 Il convient de prendre des précautions pour s'assurer que toutes les connexions de mesure sont blindées et laissées aussi courtes que possible, en accord avec les instructions du fabricant.

Certains types d'instruments requièrent un étalonnage en «court circuit» et en «circuit ouvert». Il convient que le «court circuit» soit établi entre les électrodes du système d'électrodes, dans la position que l'éprouvette occuperait. Des précautions doivent être prises pour que le court circuit utilisé soit de faibles résistance et inductance et qu'il n'endommage pas la surface des électrodes. Il est également essentiel de s'assurer que le zéro du micromètre ne soit pas modifié. Une pièce métallique en U, aux bords lisses, formant ressort, convient comme court circuit. Le «circuit ouvert» est établi en déconnectant les électrodes à l'extrémité des câbles la plus éloignée du capacimètre, de sorte qu'il soit de nouveau tenu compte de l'influence des connexions de mesure. Il convient de se référer aux instructions du fabricant pour savoir s'il est nécessaire de relier les connexions extérieures des câbles coaxiaux pendant cet étalonnage et si l'erreur introduite par l'omission du système d'électrodes est faible et peut être ignorée. De toute façon, il est préférable qu'un instrument de mesure à trois bornes soit utilisé, avec, par exemple, des connexions «haute», «basse» et «de garde».

NOTE 4 Beaucoup d'instruments du commerce sont maintenant basés sur la mesure du courant, de la tension et de l'angle de phase. Ces instruments sont couramment de conception à quatre (ou cinq) bornes. Il convient de se référer aux instructions du fabricant en ce qui concerne le mode préférentiel de connexion d'un système d'électrodes à trois bornes aux bornes de l'instrument.

6.2.5 Méthode A: Technique de mesure directe

6.2.5.1 Principe

Après la mesure de l'épaisseur de l'éprouvette, les électrodes solidaires sont peintes sur l'éprouvette qui est ensuite insérée dans le support d'éprouvette gardé et placée entre les électrodes support. L'écartement des électrodes support est réduit jusqu'à ce qu'elles soient en contact avec les électrodes solidaires. Les mesures de capacité et de facteur de dissipation de l'éprouvette sont faites.

La permittivité du matériau en essai est calculée à partir de la capacité mesurée et de l'épaisseur. Le facteur de dissipation est habituellement lu directement sur l'instrument de mesure.

6.2.5.2 Système d'électrodes

Le système d'électrodes doit être de conception mécanique rigide et avoir une capacité thermique suffisante pour que de rapides variations de température ambiante n'affectent pas significativement ses dimensions. Il doit comprendre une électrode de mesure circulaire entourée d'une électrode de garde concentrique, dans le même plan et une électrode mobile dont l'écartement de l'électrode de mesure est réglé avec un dispositif à vis comprenant un ressort de charge. La rotation du mécanisme à vis permet aux électrodes chargées par le ressort de s'appliquer sur les électrodes solidaires. Il est recommandé que la rotation de la vis ne soit pas transmise à l'électrode.

La Figure 3 illustre une possibilité de construction et les moyens de connexion à un instrument de mesure à trois bornes.

NOTE Pour la connexion à des instruments à quatre bornes ou plus, il convient de se référer aux instructions du fabricant.

6.2.4 Measuring instruments

Instruments of adequate sensitivity shall be used. Minimum detectable changes in capacitance of 0,3 fF(= $0,3 \times 10^{-15}$ F) and minimum detectable changes in dissipation factor of 0,000 01 (= 10×10^{-6}) have been found to be acceptable.

NOTE 1 A variety of modes of output is offered by commercial measuring equipment. Some of the more sophisticated offer a variety of outputs from the same instrument thus enabling the user to select the appropriate output. This standard assumes that the output is in the form of capacitance (C, in pF) and dissipation factor ($\tan\delta$). See Annex A for conversion of other forms of output to this format.

NOTE 2 The electrode systems described in methods A, B and C are of three terminal 'guarded' design. This practically eliminates the influence of stray electric fields at the electrode edges and removes the need for 'edge capacitance' corrections.

NOTE 3 Care should be taken to ensure that all measuring leads are screened and kept as short as possible, consistent with the instrument manufacturer's instructions.

Some types of instrument require a 'short' and 'open' circuit calibration. The 'short circuit' should be established between the electrodes of the electrode system, in the position that the specimen would occupy. Care should be taken to ensure that the short circuit used is of low resistance and inductance and that it does not damage the surfaces of the electrodes. It is essential also to ensure the micrometer zero is not altered. A smooth edged U-shaped piece of springy metal is suitable for use as a short circuit. The 'open' circuit is established by disconnection of the electrodes at the end of the cables farthest from the capacitance meter, so that allowance is again made for the effect of the measuring leads. Reference should be made to the manufacturer's instructions to determine whether it is necessary to link the outer connections of the coaxial cables during this calibration and whether the error introduced by omission of the electrode system is small and may be ignored. In any case it is preferable to use a three terminal measuring instrument, for example with 'high', 'low' and 'guard' connections.

NOTE 4 Many commercial instruments are now based on measurement of current, voltage and phase angle. These instruments are commonly of four (or five) terminal design. Reference should be made to the manufacturer's instructions concerning the preferred mode of connecting a three terminal electrode system to such an instrument.

6.2.5 Method A: Direct measurement technique

6.2.5.1 Principle

After measurement of the specimen thickness, intimate electrodes are painted on to the specimen that is then inserted into the guarded specimen holder and placed between the backing electrodes. The separation of the backing electrodes is reduced until they make contact with the intimate electrodes. Measurements of the specimen capacitance and dissipation factor are made.

The permittivity of the test material is calculated from the measured capacitance and thickness. The dissipation factor is usually read directly from the measuring instrument.

6.2.5.2 Electrode system

The electrode system shall be of rigid mechanical design and of sufficient thermal capacity so that rapid changes in ambient temperature do not significantly affect its dimensions. It shall comprise a circular measuring electrode surrounded by a concentric coplanar guard electrode, and a movable electrode whose separation from the measuring electrode is controlled by a spring loaded arrangement with a screw thread. Rotation of the screw drive mechanism allows the spring loaded electrodes to close on to the intimate electrodes. The screw rotation should not be transmitted to the electrode.

Figure 3 illustrates a possible construction and means of connection to a three terminal measuring instrument.

NOTE For connection to instruments having four or more terminals, reference should be made to the manufacturer's instructions.

6.2.5.3 Eprouvettes

L'éprouvette doit être à peu près plane et uniforme en épaisseur et doit dépasser l'électrode non gardée d'au moins 2 mm. Partout où cela est possible, les éprouvettes doivent être utilisées en suivant les recommandations du fabricant du système d'électrodes. Pour le système d'électrodes décrit, l'éprouvette doit être soit:

- a) une plaque circulaire plane de (61 ± 1) mm de diamètre, soit
- b) une plaque carrée plane de 60 mm × 60 mm suffit, mais une plaque rectangulaire plane de (61 ± 1) mm par (100 ± 1) mm est préférable pour faciliter la manipulation de l'éprouvette.

L'épaisseur en tout point ne doit pas varier de plus de 1 % de la valeur moyenne.

NOTE Si possible, il est recommandé que l'éprouvette soit de même épaisseur et préparée suivant le même procédé que le matériau isolant électrique en évaluation. S'il est nécessaire de réduire son épaisseur, il convient de prendre des précautions afin que ses surfaces ne soient pas contaminées pendant l'opération.

La tolérance maximale d'écart par rapport à une règle droite placée au droit d'un diamètre ou d'une diagonale doit être inférieure à 10 % de l'épaisseur.

6.2.5.4 Détermination de l'épaisseur de l'éprouvette

Déterminer l'épaisseur de l'éprouvette avec un micromètre, conformément à 4.1.1. Mesurer quatre valeurs de l'épaisseur en des points également espacés à la périphérie de l'éprouvette et une cinquième valeur au centre. Calculer l'épaisseur moyenne arithmétique t de chaque éprouvette.

6.2.5.5 Application des électrodes

Appliquer les électrodes peintes à l'argent en utilisant la technique du pochoir et en suivant les instructions du fabricant. Il convient que le diamètre extérieur de l'électrode gardée soit conforme à la spécification du fabricant du système et soit plus grand que celui de l'électrode support correspondante. De même, il convient que le diamètre intérieur de l'électrode de garde soit plus petit que celui de l'électrode support de garde.

Il convient que le diamètre extérieur de l'électrode non gardée soit approximativement le même que celui de l'électrode support non gardée.

6.2.5.6 Mesure de la capacité et du facteur de dissipation

Placer l'éprouvette dans le support d'éprouvette et rapprocher les électrodes support jusqu'à ce qu'elles soient en contact avec les électrodes solidaires de l'éprouvette, en s'assurant que les électrodes solidaires sont alignées avec le système de support.

Mesurer et consigner la capacité et le facteur de dissipation de l'éprouvette, la fréquence d'essai et l'humidité.

Répéter les mesures sur une deuxième éprouvette.

6.2.5.7 Calculs

Calculer la surface effective de l'éprouvette, en cm²

$$A = \left(\frac{\pi}{4} \right) (d_1 + g)^2 \quad (1)$$

6.2.5.3 Test specimens

The test piece shall be essentially flat and uniform in thickness and shall extend beyond the unguarded electrode by at least 2 mm. Wherever possible, test specimens shall be used as recommended by the manufacturer of the electrode system. For the electrode system shown the test piece shall be either:

- a) a flat circular sheet (61 ± 1) mm in diameter, or
- b) a flat square sheet, 60 mm $\times$ 60 mm is sufficient but a rectangular sheet (61 ± 1) mm by (100 ± 1) mm is preferred to ease test specimen handling.

The thickness at any point shall not vary by more than 1 % from the mean value.

NOTE If possible, it is recommended that the specimen be of the same thickness and prepared by the same process as the electrical insulating material under evaluation. If it is necessary to reduce its thickness, take care to ensure that its surfaces are not contaminated during the process.

The maximum tolerance deviation from a straight edge placed along a diameter or diagonal on the concave side, shall be less than 10 % of the thickness.

6.2.5.4 Determination of test piece thickness

Determine the test piece thickness with a micrometer conforming to 4.1.1. Measure four values of thickness at points equally spaced around the periphery of the test piece, and a fifth value centrally. Calculate the arithmetic mean thickness of each test piece as t .

6.2.5.5 Application of electrodes

Apply the silver paint electrodes using a masking technique and following the manufacturer's instructions. The outer diameter of the guarded electrode should be as specified by the manufacturer of the measuring instrument and should be larger than the corresponding backing electrode. The inner diameter of the guard electrode should be correspondingly smaller than the backing guard electrode.

The outer diameter of the unguarded electrode should be approximately the same as the diameter of the unguarded backing electrode.

6.2.5.6 Measurement of capacitance and dissipation factor

Place the specimen into the specimen holder and close the backing electrodes until they make contact with the intimate electrodes on the specimen, ensuring that the intimate electrodes align with the backing system.

Measure and record the specimen capacitance, dissipation factor, test frequency and humidity.

Repeat the measurements on a second specimen.

6.2.5.7 Calculations

Calculate the effective area of the test piece in cm²

$$A = \left(\frac{\pi}{4} \right) (d_1 + g)^2 \quad (1)$$

et la permittivité (relative)

$$\varepsilon_r = \frac{3,6\pi Ct}{A} \quad (2)$$

où

C est la capacité mesurée, en pF;

t est l'épaisseur de l'éprouvette, en cm;

d_1 est le diamètre de l'électrode gardée, en cm;

g est la largeur de l'espace entre les électrodes de garde et gardée, en cm;

A est la surface effective de l'électrode, en m².

Déterminer le facteur de dissipation d'après la lecture de l'appareil de mesure.

Calculer la permittivité et le facteur de dissipation comme étant la moyenne des deux déterminations.

6.2.5.8 Expression des résultats

Consigner le résultat, la fréquence d'essai, la température et l'humidité.

6.2.6 Méthode B: Technique de substitution dans l'air

6.2.6.1 Principe

L'éprouvette est insérée dans un système à électrode gardée dans lequel l'écartement des électrodes est variable. De petits espaces d'air sont laissés entre les électrodes et l'éprouvette pour être sûr que celle-ci n'est pas contrainte mécaniquement. La capacité et le facteur de dissipation de l'ensemble sont mesurés.

L'éprouvette est ôtée et l'écartement des électrodes est réglé pour obtenir une lecture de la capacité qui soit la même que la valeur mesurée avec l'éprouvette en place. Le déplacement de l'électrode et la nouvelle valeur du facteur de dissipation sont mesurés.

La permittivité et le facteur de dissipation du matériau en essai sont calculés, comme indiqué en 6.2.6.7, à partir de l'épaisseur de l'éprouvette, de la variation d'écartement des électrodes et de la variation des valeurs observées du facteur de dissipation.

6.2.6.2 Système d'électrodes

Le système d'électrodes doit être de conception mécanique rigide et avoir une capacité thermique suffisante pour que de rapides variations de température ambiante n'affectent pas significativement ses dimensions. Le système doit comprendre une électrode de mesure circulaire entourée d'une électrode de garde concentrique dans le même plan et une électrode mobile dont l'écartement par rapport à l'électrode de mesure est réglé avec une tête micrométrique. La précision du micromètre doit être de 0,01 mm. Il convient que la rotation du mécanisme de déplacement ne soit pas transmise à l'électrode.

Les surfaces des électrodes doivent être planes et doivent toujours rester pratiquement parallèles.

La Figure 4 illustre une possibilité de construction et les moyens de connexion à un instrument de mesure à trois bornes.

NOTE 1 Pour la connexion à des instruments à quatre bornes ou plus, il convient de se référer aux instructions du fabricant.

NOTE 2 Un moyen plus précis de détermination de la variation d'écartement des électrodes, par exemple un capteur de déplacement qui ne perturbe pas le champ électrique entre les électrodes, peut être utilisé.

and the (relative) permittivity

$$\varepsilon_r = \frac{3,6\pi Ct}{A} \quad (2)$$

where

C is the measured capacitance in pF;

t is the test piece thickness in cm;

d_1 is the diameter of guarded electrode in cm;

g is the width of gap between the guard and guarded electrodes in cm;

A is the effective electrode area in m².

Determine the dissipation factor from the instrument reading.

Calculate the permittivity and the dissipation factor as the average from the two determinations.

6.2.5.8 Results

Record the result, the test frequency, temperature and humidity.

6.2.6 Method B: Air substitution technique

6.2.6.1 Principle

The test piece is inserted into a guarded electrode system in which the electrode separation is variable. Small air gaps are left between the sample and electrodes to ensure that the test piece is not mechanically stressed. The capacitance and dissipation factor of the assembly are measured.

The test piece is removed and the electrode separation adjusted to give a capacitance reading which is the same as the value measured with the specimen in place. The electrode movement and the new value of dissipation factor are measured.

The permittivity and dissipation factor of the test material are calculated, as shown in 6.2.6.7, from the test piece thickness, the change in electrode spacing and the change in observed values of dissipation factor.

6.2.6.2 Electrode system

The electrode system shall be of rigid mechanical design and of sufficient thermal capacity so that rapid changes in ambient temperature do not significantly affect its dimensions. The system shall comprise a circular measuring electrode surrounded by a concentric coplanar guard electrode, and a movable electrode whose separation from the measuring electrode is controlled by a micrometer head. The precision of the micrometer shall be 0,01 mm. Rotation of the drive mechanism should not be transmitted to the electrode.

The electrode surfaces shall be flat and shall remain substantially parallel at all times.

Figure 4 illustrates a possible construction and means of connection to a three terminal measuring instrument.

NOTE 1 For connection to instruments with four or more terminals, reference should be made to the manufacturer's instructions.

NOTE 2 A more precise means of determining the changes in electrode spacing, e.g. a displacement transducer, which will not disturb the electric field between the electrodes, may be introduced.

6.2.6.3 Epreuves

L'éprouvette doit être à peu près plane et uniforme en épaisseur et doit dépasser l'électrode non gardée d'au moins 2 mm. Partout où cela est possible, les éprouvettes doivent être utilisées en suivant les recommandations du fabricant du système d'électrodes. Pour le système d'électrodes décrit, l'éprouvette doit être soit:

- a) une plaque circulaire plane de (61 ± 1) mm de diamètre, soit
- b) une plaque carrée plane de 60 mm $\times$ 60 mm suffit mais une plaque rectangulaire de (61 ± 1) mm par (100 ± 1) mm est préférable pour faciliter la manipulation de l'éprouvette.

L'épaisseur doit être dans des limites appropriées au support d'éprouvette particulier. Dans la plupart des cas, elle doit être comprise entre 0,3 mm et 12,0 mm. L'épaisseur en tout point ne doit pas varier de plus de 1 % de la valeur moyenne t , mesurée selon 6.2.6.4.

NOTE Si possible, il est recommandé que l'éprouvette soit de même épaisseur et préparée suivant le même procédé que le matériau isolant électrique en évaluation. S'il est nécessaire de réduire son épaisseur, il convient de prendre des précautions afin que ses surfaces ne soient pas contaminées pendant l'opération.

La tolérance maximale d'écart par rapport à une règle droite placée au droit d'un diamètre ou d'une diagonale doit être inférieure à 10 % de l'épaisseur.

6.2.6.4 Détermination de l'épaisseur de l'éprouvette

Déterminer l'épaisseur de l'éprouvette avec un micromètre, conformément à 4.1.1. Mesurer quatre valeurs de l'épaisseur en des points également espacés à la périphérie de l'éprouvette et une cinquième valeur au centre. Calculer l'épaisseur moyenne arithmétique t de chaque éprouvette.

6.2.6.5 Mesure de la capacité et du facteur de dissipation

Insérer l'éprouvette entre les électrodes et diminuer l'espacement des électrodes jusqu'à ce que l'électrode supérieure affleure l'éprouvette.

NOTE Tourner la vis micrométrique jusqu'à ce que l'électrode supérieure affleure l'éprouvette, tourner ensuite la vis micrométrique en sens inverse jusqu'à ce qu'on ne ressente plus de résistance à un petit mouvement latéral de l'éprouvette.

Mesurer la capacité et le facteur de dissipation.

Noter la valeur du facteur de dissipation $\tan \delta_1$, et de l'écartement des électrodes m_1 . Ôter l'éprouvette et diminuer l'écartement des électrodes jusqu'à ce que la capacité revienne à sa valeur d'origine. Noter la nouvelle valeur du facteur de dissipation $\tan \delta_2$ et de l'écartement des électrodes m_2 .

Répéter cette procédure sur une autre éprouvette.

Consigner la fréquence, la température et l'humidité relative auxquelles les mesures ont été faites.

Calculer les valeurs de la permittivité et du facteur de dissipation pour chaque ensemble de mesures comme indiqué en 6.2.6.7.

Calculer les moyennes de ces valeurs comme étant la permittivité et le facteur de dissipation du matériau en essai.

6.2.6.3 Test specimens

The test piece shall be approximately flat and uniform in thickness and shall extend beyond the unguarded electrode by at least 2 mm. Wherever possible, test specimens shall be used as recommended by the manufacturer of the electrode system. For the electrode system shown, the test piece shall be either:

- a) a flat circular sheet (61 ± 1) mm in diameter, or
- b) a flat square sheet, 60 mm $\times$ 60 mm is sufficient but a rectangular sheet (61 ± 1) mm by (100 ± 1) mm is preferred to ease test specimen handling.

The thickness shall be in the range appropriate for the specific test specimen holder. In most cases this will be between 0,3 mm and 12,0 mm. The thickness at any point shall not vary by more than 1 % from the mean value t , measured according to 6.2.6.4.

NOTE If possible, it is recommended that the specimen be of the same thickness and prepared by the same process as the electrical insulating material under evaluation. If it is necessary to reduce its thickness take care to ensure that its surfaces are not contaminated during the process.

The maximum tolerance deviation from a straight edge placed along a diameter or diagonal shall be less than 10 % of the thickness.

6.2.6.4 Determination of test piece thickness

Determine the test piece thickness with a micrometer conforming to 4.1.1. Measure four values of thickness at points equally spaced around the periphery of the test piece, and a fifth value centrally. Calculate the arithmetic mean thickness of each test piece as t .

6.2.6.5 Measurement of capacitance and dissipation factor

Insert the test piece between the electrodes and decrease the electrode gap until the upper electrode just fails to touch the test piece.

NOTE Turn the micrometer screw until the upper electrode just touches the test piece, then turn the micrometer screw in the reverse direction until no resistance is felt against a small lateral movement of the sample.

Measure the capacitance and dissipation factor.

Record the value of the dissipation factor as $\tan \delta_1$, and the electrode spacing as m_1 . Remove the test piece and decrease the electrode gap until the capacitance is returned to the original value. Record the new value of the dissipation factor as $\tan \delta_2$ and the electrode spacing as m_2 .

Repeat this procedure for a further test piece.

Record the frequency, temperature and relative humidity at which the measurements were made.

Calculate the values of permittivity and dissipation factor for each set of measurements as shown in 6.2.6.7.

Calculate the means of these values as the permittivity and dissipation factor of the material under test.

6.2.6.6 Symboles

$\tan \delta_1$ est le facteur de dissipation de l'ensemble d'électrodes avec l'éprouvette en place;

$\tan \delta_2$ est le facteur de dissipation de l'ensemble d'électrodes sans l'éprouvette;

$\Delta \tan \delta = (\tan \delta_1 - \tan \delta_2)$;

m_1 est la lecture du micromètre avec l'éprouvette en place, en mm;

m_2 est la lecture du micromètre sans l'éprouvette, en mm;

$\Delta m = (m_1 - m_2)$ en mm;

t est l'épaisseur de l'éprouvette en mm;

$\tan \delta$ est le facteur de dissipation du matériau;

ϵ_r est la permittivité (relative) du matériau.

6.2.6.7 Calcul de la permittivité et du facteur de dissipation

Permittivité:

Calculer la permittivité (relative)

$$\epsilon_r = \frac{t}{t - \Delta m} \quad (3)$$

Facteur de dissipation:

Calculer le facteur de dissipation

$$\tan \delta = \Delta \tan \delta \left(\frac{m_2}{t - \Delta m} \right) \quad (4)$$

6.2.6.8 Expression des résultats

Le résultat doit être la moyenne arithmétique des déterminations sur éprouvettes individuelles. Consigner toutes les valeurs individuelles.

6.2.7 Méthode C: Technique par immersion dans deux fluides

6.2.7.1 Principe

Comme dans la méthode B, l'espace entre les électrodes n'est que légèrement plus grand que l'épaisseur de l'éprouvette. Bien que, en principe, l'un ou les deux fluides utilisés dans cette méthode puissent être des liquides ou des gaz, la présente norme ne permet que l'utilisation de gaz (habituellement l'air) comme premier fluide, et un liquide comme second fluide.

6.2.6.6 Symbols

$\tan \delta_1$ is the dissipation factor of electrode assembly with test piece present;

$\tan \delta_2$ is the dissipation factor of electrode assembly without test piece;

$\Delta \tan \delta = (\tan \delta_1 - \tan \delta_2)$;

m_1 is the micrometer reading with test piece present, in mm;

m_2 is the micrometer reading without test piece, in mm;

$\Delta m = (m_1 - m_2)$ in mm;

t is the specimen thickness in mm;

$\tan \delta$ is the dissipation factor of material;

ϵ_r is the (relative) permittivity of material.

6.2.6.7 Calculation of permittivity and dissipation factor

Permittivity:

Calculate the (relative) permittivity

$$\epsilon_r = \frac{t}{t - \Delta m} \quad (3)$$

Dissipation factor:

Calculate the dissipation factor

$$\tan \delta = \Delta \tan \delta \left(\frac{m_2}{t - \Delta m} \right) \quad (4)$$

6.2.6.8 Expression of results

The result shall be the arithmetic mean of the determinations on individual test specimens. Record all of the individual values.

6.2.7 Method C: Two fluid immersion technique

6.2.7.1 Principle

As with method B, the electrode spacing is only slightly greater than the test piece thickness. Although, in principle, either or both of the fluids used in this method may be liquids or gases, this standard permits only the use of a gas (usually air) as the first fluid, and a liquid as the second fluid.

L'éprouvette est insérée dans un système à électrode gardée, l'écartement des électrodes réglé, l'éprouvette ôtée, et la capacité et le facteur de dissipation mesurés. L'éprouvette est remise en place et la capacité et le facteur de dissipation du système d'électrodes sont mesurés à nouveau. Après avoir ôté l'éprouvette, l'espace entre les électrodes est comblé avec le liquide d'immersion et la capacité et le facteur de dissipation mesurés. L'éprouvette est insérée et la capacité et le facteur de dissipation mesurés à nouveau. La permittivité et le facteur de dissipation du matériau en essai sont calculés comme indiqué en 6.2.7.8.

6.2.7.2 Système d'électrodes

Le système d'électrodes doit être de conception mécanique rigide et avoir une capacité thermique suffisante pour que de rapides variations de température ambiante n'affectent pas significativement ses dimensions. Le système doit comprendre une électrode de mesure circulaire entourée d'une électrode de garde concentrique dans le même plan et une électrode mobile dont l'écartement par rapport à l'électrode de mesure est réglé avec une tête micrométrique. Le mécanisme de déplacement doit être relié aux électrodes de telle façon que sa rotation ne soit pas transmise à l'électrode. Les deux électrodes doivent être montées verticalement de telle sorte que les bulles d'air entraînées dans le liquide avec l'éprouvette puissent s'échapper.

Les surfaces des électrodes doivent être planes et doivent toujours rester pratiquement parallèles.

La Figure 5 illustre une possibilité de construction et les moyens de connexion à un instrument de mesure à trois bornes.

NOTE 1 Pour la connexion à des instruments à quatre bornes ou plus, il convient de se référer aux instructions du fabricant.

NOTE 2 La température de cette cellule peut être contrôlée à $\pm 0,1$ K par un système de circulation de liquide.

NOTE 3 Les électrodes sont de préférence faites en acier inoxydable. Si elles sont faites en laiton, il faut que toutes les parties métalliques soient plaquées avec une épaisseur minimale de $10\text{ }\mu\text{m}$ d'or brillant dur.

6.2.7.3 Fluides d'immersion

Des liquides convenables de valeurs de permittivité connue sont énumérés à l'Annexe B. Des liquides qui affectent les propriétés du matériau en essai, soit par gonflement soit par quelque autre interaction ne doivent pas être utilisés. Le fluide d'immersion ne doit pas être réutilisé si la valeur du facteur de dissipation du fluide de la cellule change par rapport à sa valeur d'origine de plus de 2 % ou 10×10^{-6} , selon la plus grande des deux valeurs.

NOTE Un fluide silicone d'une viscosité de $1 \times 10^{-6}\text{ m}^2/\text{s}$ à $2 \times 10^{-6}\text{ m}^2/\text{s}$ (1 cSt à 2 cSt) est satisfaisant pour l'utilisation avec beaucoup de matières plastiques, par exemple les polyoléfines, PE, PTFE, PET, et polycarbonates. Le cyclohexane est un fluide acceptable pour une utilisation avec le PTFE. Les liquides perfluorés sont excellents car ils n'ont pas d'interaction avec la plupart des polymères organiques. Le liquide ne doit pas être réutilisé si la valeur du facteur de dissipation du fluide de la cellule a varié de plus de 2 % ou 10×10^{-6} selon la plus grande valeur.

6.2.7.4 Epreuves

Pour le système d'électrodes décrit, l'éprouvette doit être une plaque rectangulaire de $(61 \pm 1)\text{ mm} \times (100 \pm 1)\text{ mm}$. L'épaisseur doit être comprise entre 0,3 mm et 1,0 mm.

NOTE L'épaisseur précise de l'éprouvette n'est pas exigée. Elle peut cependant être mesurée et utilisée pour une comparaison avec celle qui est déduite des mesures électriques, à titre de vérification de la procédure. Partout où cela est possible, il est recommandé d'utiliser les éprouvettes comme préparées par le fabricant. Cependant s'il est nécessaire de réduire leur épaisseur, il convient de prendre des précautions afin que ses surfaces ne soient pas contaminées pendant l'opération.

The test piece is inserted into a guarded electrode system, the electrode spacing adjusted, the test piece removed and the capacitance and dissipation factor measured. The test piece is replaced and the capacitance and dissipation factor of the electrode system are re-measured. After removal of the test piece, the space between the electrodes is filled with the immersion liquid and the capacitance and dissipation factor measured. The test piece is inserted and the capacitance and dissipation factor re-measured. The permittivity and dissipation factor of the test material are calculated as shown in 6.2.7.8.

6.2.7.2 Electrode system

The electrode system shall be of rigid mechanical design and of sufficient thermal capacity so that rapid changes in ambient temperature do not significantly affect its dimensions. The system shall comprise a circular measuring electrode surrounded by a concentric coplanar guard electrode, and a moveable electrode, the separation of which from the measuring electrode is controlled by a micrometer head. The drive mechanism shall be linked with the electrodes so that the electrode does not rotate with the drive mechanism. Both electrodes shall be mounted vertically so that air bubbles dragged into the liquid with the specimen may escape.

The electrode surfaces shall be flat and shall remain substantially parallel at all times.

Figure 5 illustrates a possible construction and means of connection to a three terminal measuring instrument.

NOTE 1 For connection to instruments with four or more terminals, reference should be made to the manufacturer's instructions.

NOTE 2 The temperature of this cell may be controlled to $\pm 0,1$ K by a liquid circulation system.

NOTE 3 The electrodes are preferably made from stainless steel. If they are made from brass, then all metal parts must be plated with hard bright gold having a minimum thickness of 10 μm .

6.2.7.3 Immersion fluids

Suitable liquids of known permittivity values are listed in Annex B. Liquids which affect the properties of the test material, whether by swelling or by any other interaction shall not be used. The immersion fluid shall not be reused if the value of the dissipation factor of the cell fluid changes from its original value by more than 2 % or 10×10^{-6} , whichever is the greater.

NOTE Silicone fluid of viscosity 1×10^{-6} m²/s to 2×10^{-6} m²/s (1 cSt to 2 cSt) is satisfactory for use with many plastic materials, e.g. the polyolefins PE, PTFE, PET and polycarbonates. Cyclohexane is an acceptable fluid for use with PTFE. Perfluorinated liquids are excellent as they do not interact with most organic polymers. The liquid shall not be reused if the value of the dissipation factor of the cell fluid has changed by more than 2 % or 10×10^{-6} , whichever is the greater.

6.2.7.4 Test specimens

For the electrode system shown, the test piece shall be a rectangular sheet (61 ± 1) mm $\times$ (100 ± 1) mm. The thickness shall be between 0,3 mm and 1,0 mm.

NOTE The precise specimen thickness is not required. However, it may be measured and used for comparison with that derived from the electrical measurements as a cross-check on the procedure. Wherever possible, specimens should be used as prepared by the manufacturer. However, if it is necessary to reduce their thickness, take care that the surfaces are not contaminated during the process.

6.2.7.5 Préparation de la cellule d'essai

Préparer une cellule en la rinçant plusieurs fois avec de l'eau déionisée chaude et en la rinçant ensuite avec de l'acétone. Sécher la cellule à 50 °C et la laisser refroidir à la température de mesure (voir 6.2.1). Après au moins 1 h de stabilisation, le facteur de dissipation doit être inférieur à (10×10^{-6}) . S'assurer que l'ensemble des électrodes, les liquides et l'éprouvette dans le dessiccateur sont en équilibre thermique, à la température de mesure, à $\pm 0,1$ K près avant de commencer un essai. Régler l'écartement des électrodes de telle façon que l'éprouvette occupe au moins 80 % de l'espace mais sans le remplir complètement, de façon à ce qu'elle puisse être déplacée facilement.

6.2.7.6 Mesure de la capacité et du facteur de dissipation

Connecter la cellule et suivre les instructions du constructeur en ce qui concerne l'étalonnage initial. Noter les valeurs de la capacité et du facteur de dissipation C_1 et $\tan \delta_1$ avec les électrodes dans l'air.

Insérer l'éprouvette dans la cellule dans l'air. Noter les valeurs de la capacité et du facteur de dissipation C_2 et $\tan \delta_2$. Noter la température de la cellule à $\pm 0,1$ K.

NOTE 1 Il est essentiel que les températures de l'électrode et du fluide soient très proches de celle du bloc de garde.

Retirer l'éprouvette de la cellule et remplir celle-ci avec le fluide choisi. Mesurer la capacité et le facteur de dissipation et noter leurs valeurs sous C_3 et $\tan \delta_3$.

Insérer l'éprouvette dans la cellule. Mesurer la capacité et le facteur de dissipation et noter leurs valeurs sous C_4 et $\tan \delta_4$.

Retirer l'éprouvette de la cellule après cette mesure. Répéter cette procédure sur une autre éprouvette.

Calculer les valeurs de la permittivité et du facteur de dissipation pour chaque ensemble de mesures, comme indiqué en 6.2.7.8.

Calculer les valeurs moyennes de la permittivité et du facteur de dissipation. Consigner la fréquence, la température et l'humidité relative auxquelles les mesures ont été faites.

NOTE 2 Pour des mesures de routine, la séquence suivante, présentée au Tableau 1, peut être jugée plus commode, mais en cas de contestation, la séquence de mesures donnée dans le texte principal doit être utilisée:

Tableau 1 – Séquence employée pour les mesures de routine

Eprouvette	Fluide	Lecture à utiliser
Aucune	Air	$(C_1)_1 (C_1)_2$
1	Air	$(C_2)_1$
2	Air	$(C_2)_2$
Aucune	Liquide	$(C_3)_1 (C_3)_2$
1	Liquide	$(C_4)_1$
2	Liquide	$(C_4)_2$
Aucune	Liquide	$(C_3)_3$

6.2.7.5 Preparation of test cell

Prepare a cell by rinsing several times with warm de-ionized water and then rinse with acetone. Dry the cell at 50 °C and allow to cool to the measuring temperature (see 6.2.1). After allowing at least 1 h for stabilization, the dissipation factor shall be less than (10×10^{-6}) . Ensure that the electrode assembly, the liquids and the test piece in the desiccator, are in thermal equilibrium at the measuring temperature to within $\pm 0,1$ K before commencing a test. Adjust the electrode spacing so that the specimen occupies at least 80 % of the gap but without filling the gap completely so that it may be easily moved in and out.

6.2.7.6 Measurement of capacitance and dissipation factor

Connect the leads to the cell and follow the manufacturer's instructions as to the initial bridge calibration. Record the values of capacitance and dissipation factor as C_1 and $\tan \delta_1$ with air between the electrodes.

Insert the specimen into the air-filled cell. Record the values of capacitance and dissipation factor as C_2 and $\tan \delta_2$. Record the cell temperature to $\pm 0,1$ K.

NOTE 1 It is essential that the test specimen and fluid temperatures are very close to that of the guard block.

Remove the specimen from the cell and fill the cell with the fluid chosen. Measure the capacitance and dissipation factor and record the values as C_3 and $\tan \delta_3$.

Insert the specimen into the cell. Measure the capacitance and dissipation factor and record the values as C_4 and $\tan \delta_4$.

Remove the specimen from the cell after this measurement and repeat the procedure for a further test piece.

Calculate the values of permittivity and dissipation factor for each set of measurements as shown in 6.2.7.8.

Calculate the mean values of permittivity and material dissipation factor. Record the frequency, temperature and relative humidity at which measurements are made.

NOTE 2 For routine measurements, the following sequence, as shown in Table 1, may be found more convenient, but in cases of dispute, the sequence of measurements given in the main text shall be used:

Table 1 – Sequence employed for routine measurements

Test specimen	Fluid	Use reading as
None	Air	$(C_1)_1 (C_1)_2$
1	Air	$(C_2)_1$
2	Air	$(C_2)_2$
None	Liquid	$(C_3)_1 (C_3)_2$
1	Liquid	$(C_4)_1$
2	Liquid	$(C_4)_2$
None	Liquid	$(C_3)_3$

6.2.7.7 Symboles

- C_1 est la capacité de la cellule seule, dans l'air, en pF;
 C_2 est la capacité de la cellule avec l'éprouvette, dans l'air, en pF;
 C_3 est la capacité de la cellule seule, avec le fluide, en pF;
 C_4 est la capacité de la cellule avec l'éprouvette, avec le fluide, en pF;
 $\Delta C_A = (C_2 - C_1)$ en pF;
 $\Delta C_F = (C_4 - C_3)$ en pF;
 $\tan \delta$ est le facteur de dissipation de l'éprouvette;
 $\tan \delta_1$ est le facteur de dissipation de la cellule dans l'air;
 $\tan \delta_2$ est le facteur de dissipation avec l'éprouvette dans l'air;
 $\Delta \tan \delta_A = (\tan \delta_2 - \tan \delta_1)$;
 A est la surface effective de l'électrode, en m²;
 ϵ_0 est la constante diélectrique 8,8542 pF × m⁻¹.

6.2.7.8 Calcul de la permittivité et du facteur de dissipation

Permittivité:

Calculer la permittivité (relative)

$$\epsilon_r = 1 + \frac{C_4 \Delta C_A (C_3 - C_1)}{C_1 (C_4 \Delta C_A - C_2 \Delta C_F)} \quad (5)$$

Facteur de dissipation:

Calculer le facteur de dissipation à partir de:

$$\tan \delta = \frac{C_5 \Delta D_A}{\Delta C_A} \quad (6)$$

où

$$C_5 = \frac{C_2 C_4 (C_3 - C_1)}{(C_4 \Delta C_A - C_2 \Delta C_F)} \quad (7)$$

NOTE L'épaisseur calculée, t , de l'éprouvette est donnée par:

$$t = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 A}{C_5} \quad (8)$$

Celle-ci peut être comparée à l'épaisseur mesurée, à titre de contrôle de la précision.

6.2.7.9 Expression des résultats

Le résultat doit être la moyenne des déterminations sur éprouvettes individuelles. Consigner aussi les valeurs individuelles.

6.2.7.7 Symbols

- C_1 is the cell capacitance with air alone in pF;
 C_2 is the cell capacitance with specimen in air in pF;
 C_3 is the cell capacitance with fluid alone in pF;
 C_4 is the cell capacitance with specimen in fluid in pF;
 $\Delta C_A = (C_2 - C_1)$ in pF;
 $\Delta C_F = (C_4 - C_3)$ in pF;
 $\tan \delta$ is the dissipation factor of specimen;
 $\tan \delta_1$ is the dissipation factor of cell in air;
 $\tan \delta_2$ is the dissipation factor with specimen in air;
 $\Delta \tan \delta_A = (\tan \delta_2 - \tan \delta_1)$;
 A is the effective electrode area in m²;
 ϵ_0 is the electric constant 8,8542 pF × m⁻¹.

6.2.7.8 Calculation of permittivity and dissipation factor

Permittivity:

Calculate the (relative) permittivity

$$\epsilon_r = 1 + \frac{C_4 \Delta C_A (C_3 - C_1)}{C_1 (C_4 \Delta C_A - C_2 \Delta C_F)} \quad (5)$$

Dissipation factor:

Calculate the dissipation factor from

$$\tan \delta = \frac{C_5 \Delta D_A}{\Delta C_A} \quad (6)$$

where

$$C_5 = \frac{C_2 C_4 (C_3 - C_1)}{(C_4 \Delta C_A - C_2 \Delta C_F)} \quad (7)$$

NOTE The calculated specimen thickness, t , is given by:

$$t = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 A}{C_5} \quad (8)$$

This may be compared with the measured thickness as an accuracy check.

6.2.7.9 Expression of results

The result shall be the mean of the determinations on individual specimens. Record also the individual values.

6.2.8 Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit comprendre les informations suivantes:

- a) la référence à la présente norme et à la méthode d'essai utilisée, par exemple CEI 60893-2, Méthode A, B ou C;
- b) le type ou la désignation du matériau isolant et la forme sous laquelle il a été livré;
- c) la méthode de fabrication des éprouvettes;
- d) l'épaisseur de l'éprouvette et l'information concernant le traitement de surface (s'il y a lieu) de la zone de contact avec les électrodes des éprouvettes;
- e) la méthode et la durée du conditionnement des éprouvettes s'il est différent de la spécification;
- f) l'instrument de mesure;
- g) les dimensions des électrodes et de l'éprouvette, si elles sont différentes de la spécification;
- h) la température et l'humidité relative pendant l'essai;
- i) la tension d'essai;
- j) la fréquence d'essai;
- k) la permittivité relative ϵ_r : valeur moyenne arithmétique, valeurs individuelles;
- l) le facteur de dissipation électrique ($\tan \delta$): valeur moyenne arithmétique, valeurs individuelles;
- m) la date de l'essai;
- n) tout fait inhabituel remarqué pendant l'essai.

6.3 Résistance d'isolement après immersion dans l'eau

6.3.1 Généralités

La résistance d'isolement doit être déterminée en utilisant la méthode des électrodes en forme de broches coniques spécifiée dans la CEI 60167 et modifiée comme décrit ci-dessous. Cet essai ne s'applique qu'à des planches d'épaisseur nominale inférieure ou égale à 25 mm.

6.3.2 Eprouvettes

Les éprouvettes doivent être découpées dans la planche en essai. Les dimensions des éprouvettes doivent être telles que décrites dans la CEI 60167. Le matériau doit être essayé avec les axes principaux dans chaque direction parallèle aux côtés de la planche. Deux éprouvettes doivent être essayées dans chaque direction. L'épaisseur de l'éprouvette doit être celle de la planche soumise à l'essai.

6.3.3 Méthode d'essai

Sécher les éprouvettes dans une étuve à une température de $50\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ pendant $(24 \pm 1)\text{ h}$ et les immerger ensuite dans de l'eau distillée ou déionisée pendant $(24 \pm 1)\text{ h}$ à une température de $23\text{ °C} \pm 2\text{ K}$. A la fin de cette période, sortir les éprouvettes de l'eau, ôter l'humidité en surface en les essuyant avec un chiffon sec propre, du papier buvard ou du papier-filtre et mettre en place les électrodes. Mesurer la résistance d'isolement à $25\text{ °C} \pm 10\text{ K}$ dans une atmosphère d'humidité relative ne dépassant pas 75 %. Terminer chaque mesure dans les 1,5 min à 2 min après leur sortie de l'eau.

Lorsqu'il est possible de démontrer que cela n'affecte pas les résultats, d'autres conditions de séchage peuvent être utilisées (par exemple, séchage pendant $1\text{ h} \pm 5\text{ min}$ à $105\text{ °C} \pm 5\text{ K}$) mais en cas de contestation, la méthode spécifiée doit être utilisée.

6.2.8 Test report

The following information shall be included in the test report:

- a) reference to this standard and test method used, i.e. IEC 60893-2, Method A, B, or C;
- b) type or designation of the insulating material and the form in which it was delivered;
- c) method of fabrication of the specimen;
- d) specimen thickness and information concerning the surface treatment (if any) at the electrode contact areas of the specimens;
- e) method and duration of conditioning of the specimens if not as specified;
- f) measuring instrument;
- g) electrode and specimen dimensions if not as specified;
- h) temperature and relative humidity during the test;
- i) test voltage;
- j) test frequency;
- k) relative permittivity ϵ_r : arithmetic mean value, individual values;
- l) dielectric dissipation factor ($\tan \delta$): arithmetic mean value, individual values;
- m) date of test;
- n) any unusual features noticed during the test.

6.3 Insulation resistance after immersion in water

6.3.1 General

Insulation resistance shall be determined using the method with taper pin electrodes, as specified in IEC 60167 and modified as described below. This test is applicable only to sheets of nominal thickness up to 25 mm inclusive.

6.3.2 Test specimens

Test specimens shall be cut from the sheet under test. Dimensions of the specimens shall be as described in IEC 60167. The material shall be tested with major axes in each direction, parallel to the sides of the sheet. Two specimens shall be tested in each direction. The thickness of the specimen shall be the thickness of the sheet under test.

6.3.3 Test method

Dry the test specimens in an oven at a temperature of $50\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ for $(24 \pm 1)\text{ h}$ and then immerse them in distilled or de-ionized water for $(24 \pm 1)\text{ h}$ at a temperature of $23\text{ °C} \pm 2\text{ K}$. At the end of this time, remove the test specimens from the water and remove the surface moisture by wiping with a clean dry cloth, absorbent paper or filter paper and insert the electrodes. Measure the insulation resistance at $25\text{ °C} \pm 10\text{ K}$ in an atmosphere of not more than 75 % relative humidity. Complete each measurement within 1,5 min to 2 min after removal from the water.

When it is possible to demonstrate that it does not affect the results, other drying conditions may be used (for example, drying for $1\text{ h} \pm 5\text{ min}$ at $105\text{ °C} \pm 5\text{ K}$) but in case of dispute, the specified method shall be used.

6.3.4 Expression des résultats

Calculer la moyenne arithmétique des valeurs mesurées pour chaque direction, en $M\Omega$ et prendre la plus petite des deux moyennes arithmétiques comme résistance d'isolement après immersion dans l'eau de la planche soumise à l'essai.

6.4 Indices de résistance et de tenue au cheminement

6.4.1 Généralités

Effectuer l'essai conformément à la CEI 60112.

6.4.2 Eprouvettes

Les éprouvettes doivent être découpées dans la planche en essai et ne doivent pas avoir moins de 15 mm $\times$ 15 mm $\times$ l'épaisseur de la planche en essai. L'épaisseur de l'éprouvette doit être supérieure ou égale à 3 mm, ce qui peut être obtenu en empilant les matériaux si besoin.

6.4.3 Méthode d'essai

Les indices de résistance et de tenue au cheminement doivent être déterminés selon la méthode spécifiée dans la CEI 60112. La solution d'essai A doit être utilisée.

6.4.4 Expression des résultats

Dans le cas de l'essai de l'Indice de Tenue au Cheminement, consigner dans le rapport la réussite ou l'échec de l'essai à la tension spécifiée, suivant la description de la CEI 60112, ainsi que l'épaisseur des éprouvettes essayées. Dans le cas de l'Indice de Résistance au Cheminement, consigner dans le rapport la valeur qui a été déterminée et l'épaisseur des éprouvettes essayées.

6.5 Résistance au cheminement et à l'érosion

6.5.1 Généralités

Effectuer l'essai conformément à la CEI 60587.

6.5.2 Eprouvettes

Les éprouvettes doivent être découpées dans la planche en essai. Leurs dimensions doivent être de 50 mm $\times$ 120 mm $\times$ l'épaisseur de la planche en essai.

6.5.3 Méthode d'essai

La résistance au cheminement et à l'érosion doit être déterminée conformément à la CEI 60587 en utilisant la méthode spécifiée dans la feuille correspondante de la CEI 60893-3.

6.5.4 Expression des résultats

Consigner dans le rapport la réussite ou l'échec de l'essai à la tension spécifiée, suivant la description de la CEI 60587. Consigner également l'épaisseur des éprouvettes essayées.

6.3.4 Results

Calculate the arithmetic mean of the measured values in each direction in MΩ and take the lower of the two arithmetic means as the insulation resistance after water immersion of the sheet under test.

6.4 Comparative and proof tracking indices

6.4.1 General

Test in accordance with IEC 60112.

6.4.2 Test specimens

Test specimens shall be cut from the sheet under test and shall be not less than 15 mm × 15 mm × the thickness of the sheet under test. The specimen thickness shall be equal or greater than 3 mm, which can be accomplished by stacking materials if necessary.

6.4.3 Test method

Comparative and proof tracking indices shall be determined by the method specified in IEC 60112. Test solution A shall be used.

6.4.4 Results

In the case of the Proof Tracking Index test, report pass or fail at the specified voltage as described in IEC 60112, and the thickness of the specimens tested. In the case of Comparative Tracking Index, report the value determined and the thickness of the specimens tested.

6.5 Tracking and erosion resistance

6.5.1 General

Test in accordance with IEC 60587.

6.5.2 Test specimens

Test specimens shall be cut from the sheet under test and shall be 50 mm × 120 mm × thickness of the sheet under test.

6.5.3 Test method

Tracking and erosion resistance shall be determined in accordance with IEC 60587 using the method specified in the relevant sheet of IEC 60893-3.

6.5.4 Results

Report pass or fail at the specified voltage as described in IEC 60587. Report also the thickness of the specimen tested.

7 Essais thermiques

7.1 Endurance thermique

7.1.1 Généralités

L'endurance thermique doit être déterminée selon la méthode spécifiée dans la CEI 60216-1 et dans les spécifications d'essai correspondantes (c'est-à-dire la CEI 60216-1 et l'ISO 178).

7.1.2 Eprouvettes

Les éprouvettes doivent être découpées dans la planche en essai. et leurs dimensions doivent être telles que décrites en 5.1.2

7.1.3 Méthode d'essai

La procédure de vieillissement utilisée doit être telle que décrite en 5.5 et 5.6 de la CEI 60216-1. Sauf spécification contraire, l'endurance thermique doit être déterminée en utilisant la résistance à la flexion comme propriété distinctive (voir 5.1), avec une réduction de 50 % de la valeur initiale comme critère de fin de vie. Tous les essais doivent être faits à $23\text{ °C} \pm 5\text{ K}$.

7.1.4 Expression des résultats

L'endurance thermique doit être exprimée, comme indiqué en 6.2 de la CEI 60216-1, par l'indice de température à 20 000 h.

7.2 Inflammabilité

7.2.1 Généralités

L'inflammabilité doit être déterminée suivant une des méthodes décrites dans la CEI 60695-11-10, comme spécifiée dans la feuille correspondante de la CEI 60893-3.

7.2.2 Eprouvettes

Les éprouvettes doivent être découpées dans la planche en essai et leurs dimensions doivent être telles que décrites dans la CEI 60695-11-10. S'assurer que les éprouvettes sont exemptes de poussière ou de contamination.

7.2.3 Méthode d'essai

Effectuer l'essai conformément à l'article correspondant de la CEI 60695-11-10.

7.2.4 Expression des résultats

Consigner dans le rapport la classification attribuée selon la CEI 60695-11-10.

8 Autres essais

8.1 Masse volumique

8.1.1 Généralités

La méthode d'essai suivante doit être utilisée pour déterminer la masse volumique.

7 Thermal tests

7.1 Thermal endurance

7.1.1 General

Thermal endurance shall be determined by the method specified in IEC 60216-1, and the relevant test specifications (i.e. IEC 60216-1 and ISO 178).

7.1.2 Test specimens

Specimens shall be cut from the sheet under test and their dimensions shall be as described in 5.1.2.

7.1.3 Test method

The ageing procedure used shall be as described in 5.5 and 5.6 of IEC 60216-1. Unless otherwise specified, thermal endurance shall be determined using flexural strength as the distinguishing property (see 5.1), with 50 % reduction of the initial value as the end-point. Tests shall be carried out at $23\text{ °C} \pm 5\text{ K}$.

7.1.4 Results

The thermal endurance shall be expressed, as described in 6.2 of IEC 60216-1, with the temperature index at 20 000 h.

7.2 Flammability

7.2.1 General

Flammability shall be determined according to one of the methods given in IEC 60695-11-10, as specified in the relevant sheet of IEC 60893-3.

7.2.2 Test specimens

Specimens shall be cut from the sheet under test and their dimensions shall be as described in IEC 60695-11-10. Ensure that the specimens are free from dust or contamination.

7.2.3 Test method

Carry out the tests in accordance with the relevant clause of IEC 60695-11-10.

7.2.4 Results

Report the assigned classification in accordance with IEC 60695-11-10.

8 Other tests

8.1 Density

8.1.1 General

The following test method shall be used in order to determine the density.

8.1.2 Epreuves

Les épreuves doivent être découpées dans la planche en essai comme décrit dans l'ISO 1183.

8.1.3 Méthode d'essai

La masse volumique doit être déterminée selon la méthode A spécifiée dans l'ISO 1183.

8.1.4 Expression des résultats

Les résultats doivent être exprimés en g/cm³.

8.2 Absorption d'eau

8.2.1 Généralités

L'absorption d'eau doit être déterminée selon la méthode 1 (6.2) de l'ISO 62, modifiée comme ci-dessous.

8.2.2 Epreuves

Trois épreuves doivent être soumises à l'essai. Les dimensions des épreuves doivent être de (50 ± 1) mm $\times$ (50 ± 1) mm $\times$ l'épaisseur de la planche en essai sauf dans les cas où l'épaisseur nominale de la planche en essai est supérieure à 25 mm. En pareils cas, l'épaisseur de l'épreuve doit être ramenée à $22,5 \text{ mm} \pm 0,3 \text{ mm}$ par usinage sur une seule face avec une finition relativement lisse.

8.2.3 Méthode d'essai

L'essai doit être effectué comme indiqué en 6.2 de l'ISO 62, en maintenant l'eau distillée ou déionisée à $23 \text{ °C} \pm 0,5 \text{ K}$.

8.2.4 Expression des résultats

Les résultats doivent être exprimés en mg, selon l'Article 7 de l'ISO 62. La moyenne arithmétique des trois résultats doit être consignée dans le rapport comme étant l'absorption d'eau.

8.1.2 Test specimens

Specimens shall be cut from the sheet under test as described in ISO 1183.

8.1.3 Test method

Density shall be determined using method A specified in ISO 1183.

8.1.4 Results

Results shall be expressed in g/cm^3 .

8.2 Water absorption

8.2.1 General

Water absorption shall be determined in accordance with method 1 (6.2) of ISO 62 and as modified below.

8.2.2 Test specimens

Three specimens shall be tested. The specimen dimensions shall be $(50 \pm 1) \text{ mm} \times (50 \pm 1) \text{ mm} \times$ the thickness of the sheet under test except in cases where the nominal thickness of the sheet under test is greater than 25 mm. In such cases, the thickness of the test specimens shall be reduced to $22,5 \text{ mm} \pm 0,3 \text{ mm}$ by machining one face only to a relatively smooth finish.

8.2.3 Test method

The test shall be performed as described in 6.2 of ISO 62, maintaining the distilled or de-ionised water at $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,5 \text{ K}$.

8.2.4 Results

Results shall be expressed in mg in accordance with Clause 7 of ISO 62. The arithmetic mean of the three results shall be reported as the water absorption.

Dimensions en millimètres

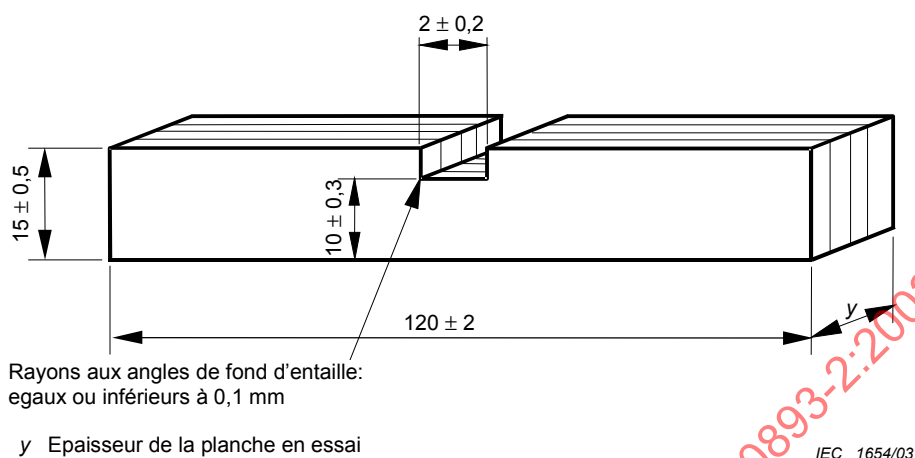


Figure 1a – Epreuve pour l'essai de résistance au choc Charpy

Dimensions en millimètres

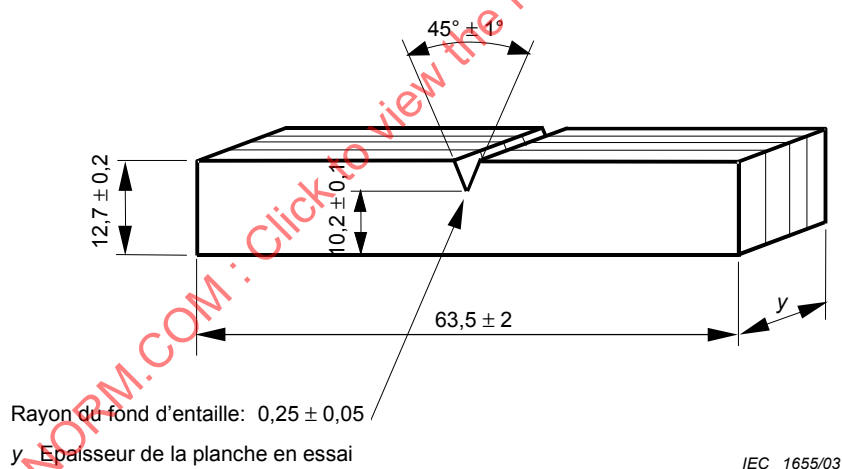


Figure 1b – Epreuve pour l'essai de résistance au choc Izod

Figure 1 – Epreuve pour l'essai de résistance au choc

Dimensions in millimetres

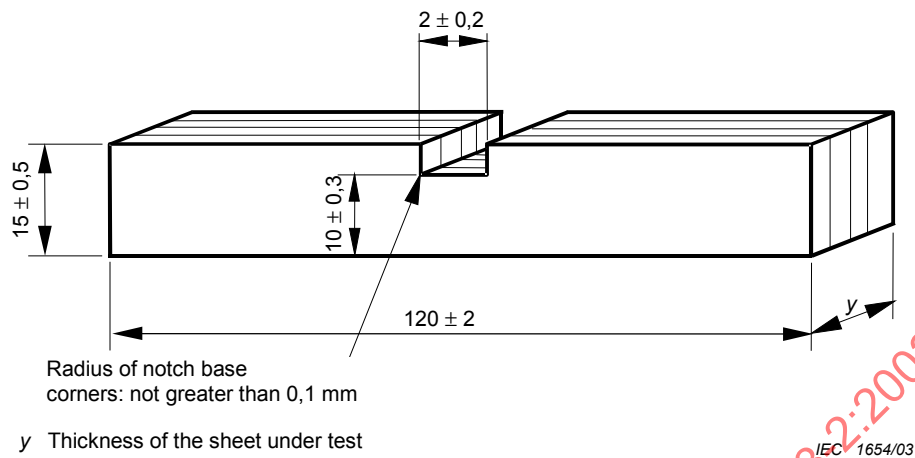


Figure 1a – Test specimen for Charpy impact strength test

Dimensions in millimetres

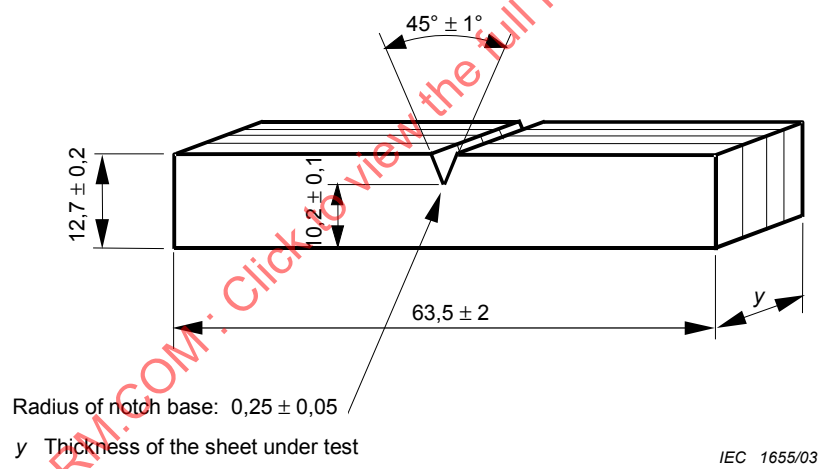
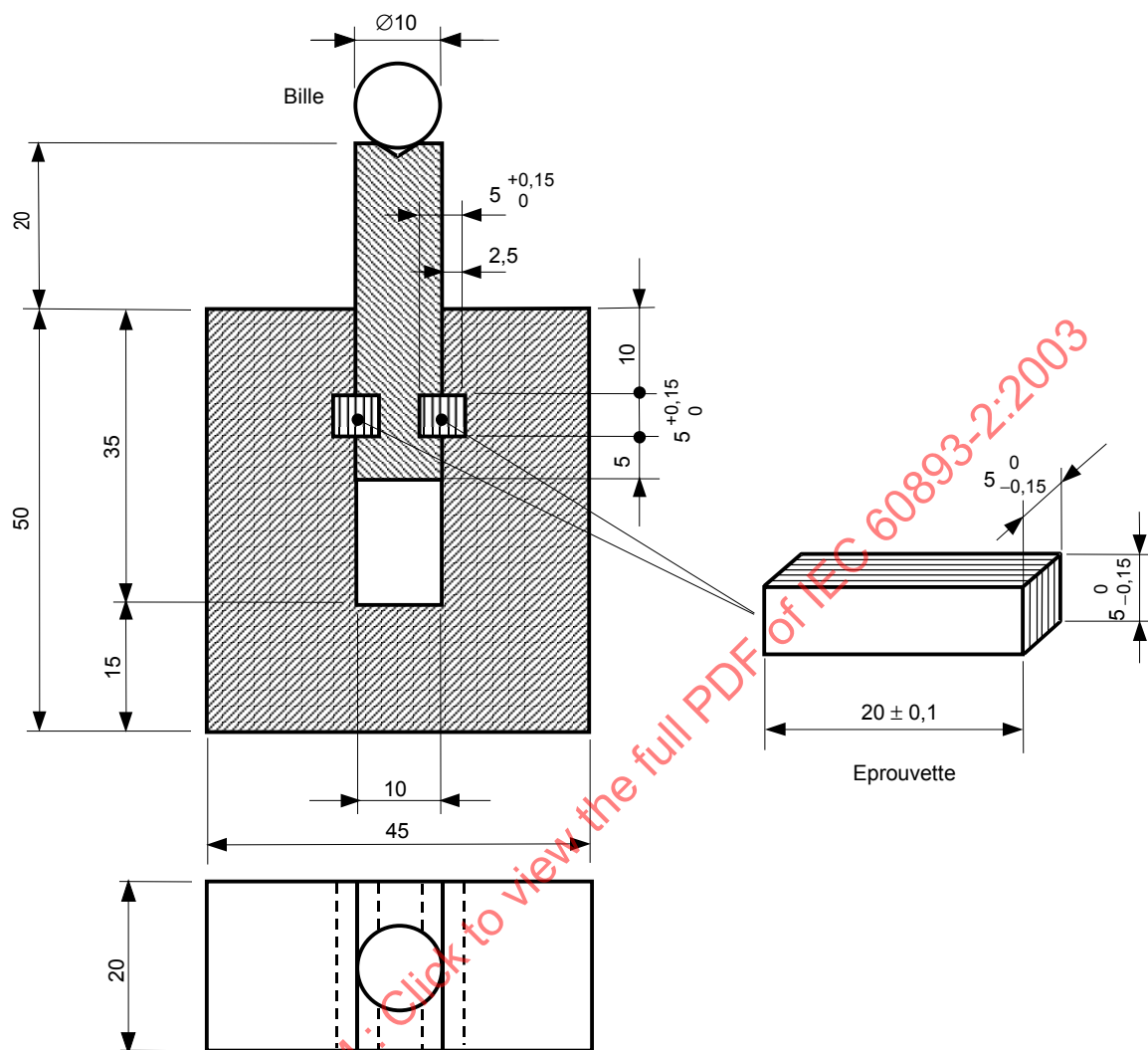


Figure 1b – Test specimen for Izod impact strength test

Figure 1 – Test specimens for impact strength test

Dimensions en millimètres



IEC 1656/03

Figure 2 – Dispositif d'essai de résistance au cisaillement parallèle