

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC
1072**

Première édition
First edition
1991-12

**Méthodes d'essais pour évaluer
la résistance des matériaux isolants
à la formation d'arborescences électriques**

**Methods of test for evaluating
the resistance of insulating materials
against the initiation of electrical trees**



**Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 1072: 1991**

Révision de la présente publication

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

Les renseignements relatifs à ce travail de révision, à l'établissement des éditions révisées et aux mises à jour peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et en consultant les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la Publication 50 de la CEI: Vocabulaire Electrotechnique International (VEI), qui est établie sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini, l'Index général étant publié séparément. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit repris du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, symboles littéraux et signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la Publication 27 de la CEI: Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique;
- la Publication 617 de la CEI: Symboles graphiques pour schémas.

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit repris des Publications 27 ou 617 de la CEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même Comité d'Etudes

L'attention du lecteur est attirée sur le deuxième feuillet de la couverture, qui énumère les publications de la CEI préparées par le Comité d'Etudes qui a établi la présente publication.

Revision of this publication

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

Information on the work of revision, the issue of revised editions and amendment sheets may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
- **Catalogue of IEC Publications**
Published yearly

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC Publication 50: International Electrotechnical Vocabulary (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field, the General Index being published as a separate booklet. Full details of the IEV will be supplied on request.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to:

- IEC Publication 27: Letter symbols to be used in electrical technology;
- IEC Publication 617: Graphical symbols for diagrams.

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC Publications 27 or 617, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

IEC publications prepared by the same Technical Committee

The attention of readers is drawn to the back cover, which lists IEC publications issued by the Technical Committee which has prepared the present publication.

RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT

CEI
IEC
1072

Première édition
First edition
1991-12

**Méthodes d'essais pour évaluer
la résistance des matériaux isolants
à la formation d'arborescences électriques**

**Methods of test for evaluating
the resistance of insulating materials
against the initiation of electrical trees**

© CEI 1991 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 pro-
cédé, 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.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varemé Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

T

For price, see catalogue en français
For price, see current catalogue

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	6
Articles	
SECTION 1: GÉNÉRALITÉS	
1.1 Domaine d'application et objet	10
1.2 Références normatives	10
1.3 Définitions	10
SECTION 2: MÉTHODE A - ESSAI À UNE AIGUILLE: GÉOMÉTRIE POINTE-PLAN	
2.1 Résumé de la méthode	12
2.2 Appareillage	12
2.3 Mode opératoire	16
2.4 Analyse des résultats d'essai	18
2.5 Rapport	20
2.6 Précision et justesse	20
SECTION 3: MÉTHODE B - ESSAI À DEUX AIGUILLES: GÉOMÉTRIE POINTE-POINTE	
3.1 Résumé de la méthode	22
3.2 Signification et usage	22
3.3 Terminologie	22
3.4 Appareillage	22
3.5 Échantillonnage	24
3.6 Eprouvettes d'essai	24
3.7 Conditionnement	28
3.8 Mode opératoire	30
3.9 Présentation des résultats	30
3.10 Rapport	32
3.11 Précision et justesse	32
Figures	34
ANNEXE A - Préparation des électrodes-aiguilles	38
ANNEXE B - Résultats et discussion des essais circulaires d'arborisation	40

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	7
Clause	
SECTION 1: GENERAL	
1.1 Scope and object	11
1.2 Normative references	11
1.3 Definitions	11
SECTION 2: METHOD A - THE SINGLE-NEEDLE TEST: NEEDLE TO PLANE GEOMETRY	
2.1 Summary of method	13
2.2 Apparatus	13
2.3 Test procedure	17
2.4 Analysis of test results	19
2.5 Report	21
2.6 Precision and bias	21
SECTION 3: METHOD B - THE DOUBLE-NEEDLE TEST: NEEDLE TO NEEDLE GEOMETRY	
3.1 Summary of method	23
3.2 Significance and use	23
3.3 Terminology	23
3.4 Apparatus	23
3.5 Sampling	25
3.6 Test specimens	25
3.7 Conditioning	29
3.8 Procedure	31
3.9 Presentation of results	31
3.10 Report	33
3.11 Precision and bias	33
Figures	34
ANNEX A - Preparation of needle electrodes	39
ANNEX B - Results and discussion of round robin treeing tests	41

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**MÉTHODES D'ESSAIS POUR ÉVALUER LA RÉSISTANCE
DES MATÉRIAUX ISOLANTS À LA FORMATION
D'ARBORESCENCES ÉLECTRIQUES**

AVANT-PROPOS

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

Le présent Rapport technique a été établi par le Sous-Comité 15B: Essais d'endurance, du Comité d'Etudes n° 15 de la CEI: Matériaux isolants.

Le texte de ce rapport est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
15B(BC)68	15B(BC)75

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

Le présent document est publié dans la série des rapports techniques de type 2 comme «norme prospective d'application provisoire» dans le domaine de l'endurance électrique en raison de l'urgence d'avoir une indication quant à la manière dont il convient d'utiliser les normes dans ce domaine pour répondre à un besoin déterminé.

Ce document ne doit pas être considéré comme une «Norme internationale». Il est proposé pour une mise en œuvre provisoire, dans le but de recueillir des informations et d'acquérir de l'expérience quant à son application dans la pratique. Il est de règle d'envoyer les observations éventuelles relatives au contenu de ce document au Bureau Central de la CEI.

Il sera procédé à un nouvel examen de ce rapport technique de type 2 trois ans au plus tard après sa publication avec la faculté d'en prolonger la validité pendant trois autres années, de le transformer en Norme internationale ou de l'annuler.

Les annexes A et B font partie intégrante de ce Rapport technique.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**METHODS OF TEST FOR EVALUATING THE RESISTANCE
OF INSULATING MATERIALS AGAINST THE INITIATION
OF ELECTRICAL TREES**

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees in which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

This Technical Report has been prepared by Sub-Committee 15B: Endurance tests, of IEC Technical Committee No. 15: Insulating materials.

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

Six Months' Rule	Report on Voting
15B(CO)88	15B(CO)75

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

This document is being issued in the technical report (type 2) series of publications as a "prospective standard for provisional application" in the field of electrical endurance because there is an urgent need for guidance on how standards in this field should be used to meet an identified need.

This document is not to be regarded as an "International Standard". It is proposed for provisional application so that information and experience of its use in practice may be gathered. Comments on the content of this document should be sent to the IEC Central Office.

A review of this technical report (type 2) will be carried out not later than three years after its publication with the options of: extension for another three years; conversion into an International Standard; or withdrawal.

Annexes A and B form an integral part of this Technical Report.

INTRODUCTION

a) *Remarques générales*

Un groupe de travail préparatoire a été créé pour l'étude de l'endurance électrique. Une des tâches assignées était de préparer des méthodes d'évaluation de l'endurance à l'arborescence électrique des matériaux isolants et de leurs combinaisons simples.

Deux méthodes d'essai d'arborescence sont généralement utilisées pour comparer la résistance des matériaux isolants solides à la formation d'arborescences électriques en environnement sec et sous contrainte de courte durée. Elles sont décrites dans ce rapport. Ces méthodes diffèrent essentiellement dans la disposition des électrodes et les séquences d'application de la tension:

- la méthode A, essai à une aiguille, décrite dans la section 2 de ce rapport, utilise un système pointe-plan et une tension croissant par paliers de 1 min jusqu'à la formation d'arborescences;
- la méthode B, essai à deux aiguilles, décrite dans la section 3, utilise deux électrodes cylindriques dont les extrémités opposées sont, l'une taillée en pointe, l'autre en hémisphère. Des éprouvettes neuves sont soumises à une tension pendant 1 h à différents niveaux de contrainte.

Dans une première étape de l'essai de résistance à l'arborescence électrique, les dispositions des électrodes décrites dans les sections 2 et 3 ont été évaluées sous contraintes de courte durée (1 min) dans un essai circulaire. Les résultats de ces essais sont présentés et discutés brièvement dans l'annexe B.

En résumé, on peut conclure que les essais d'arborescence pour déterminer la résistance à la formation d'arborescences électriques sous contraintes de courte durée, effectués dans des conditions bien définies et utilisant des aiguilles disponibles dans le commerce, donnent des résultats statistiquement valables et reproductibles. Comme aucune méthode ne présente d'avantage déterminant par rapport à l'autre, les deux méthodes peuvent être recommandées sans préférence.

Il convient de remarquer que l'endurance à l'arborescence n'est pas nécessairement corrélée à la tension d'apparition d'arborescences à court terme. En conséquence, des essais d'arborescence utilisant les dispositions d'électrodes indiquées précédemment ont été effectués pour rechercher si, et dans quelle mesure, une tension élevée d'apparition des arborescences est corrélée à un temps long d'apparition sous des tensions constantes plus faibles. Les résultats ont montré qu'au stade actuel des connaissances, l'extension des méthodes décrites dans les sections 2 et 3 à des essais à long terme de résistance à l'arborescence de matériaux isolants est beaucoup trop dépendante des conditions opératoires pour satisfaire aux exigences des normes CEI. Il a été décidé que, pour le moment, il n'y a pas lieu de continuer les travaux en vue de préparer une méthode d'essai CEI de la résistance à l'arborescence à long terme des matériaux isolants. Il est nécessaire de continuer les recherches dans ce domaine. Il a été souligné que de tels travaux pourraient certainement continuer ailleurs, étant donné que l'on reconnaît l'importance pour les matériaux isolants de résister à long terme à l'arborescence et que des méthodes permettant d'évaluer cette résistance en laboratoire seraient particulièrement utiles.

INTRODUCTION

a) *General remarks*

A preparatory working group has been set up on electrical endurance. One of the given tasks was to prepare methods for assessing the electrical freeing endurance of insulating materials and simple combinations thereof.

Two freeing tests are generally used to compare the resistance of solid insulating materials against the initiation of electrical trees under dry conditions and using short-time stressing. They are described in this report. The methods differ mainly in the electrode arrangement and in the time intervals during which voltage is applied:

- method A, the single-needle test, described in section 2 of this report, employs a point-to-plane geometry and consecutive voltage steps of 1 min duration until tree initiation has occurred;
- method B, the double-needle test, described in section 3, employs two opposing cylindrical electrodes, one sharpened to a point, the other with a hemispherical end. The voltage is applied to virgin specimens for a period of 1 h at different stress levels.

As a first step towards testing of resistance against electrical treeing, the electrode arrangements described in sections 2 and 3 have been evaluated in a round robin test under conditions of short-time (1 min) stressing. The test results and a short discussion of the same are given in annex B.

In summary, it can be concluded that treeing tests to determine the resistance to initiation of electrical trees under short-time stressing and performed under well-defined conditions using commercial needle electrodes give statistically valid and reproducible results. Since there is no obvious advantage to either one of the two tests, both methods can be recommended without preference.

It should be pointed out that endurance against treeing does not necessarily correlate with the short-time tree inception voltage. Therefore treeing tests using the above-mentioned electrode arrangements have been performed to find out whether, or how closely, an elevated tree inception voltage corresponds to a prolonged tree inception time at constant lower stresses. The results are such that at the present stage of knowledge, the extension of the methods described in sections 2 and 3 to testing the long-term endurance of insulating materials against treeing is far too operator-dependent to meet IEC needs. It was decided that, at present, there is no justification for continuing the attempt to prepare an IEC test method for the long-term freeing endurance of insulating materials. Further research in this field is required. It was emphasized that such work should certainly be continued elsewhere, as the importance of the long-term freeing endurance of insulating materials is recognized, and methods to assess it under laboratory conditions would certainly be useful.

b) Méthodes d'essai pour évaluer la résistance à la formation des arborescences

Lorsque les diélectriques solides organiques sont soumis à des gradients électriques suffisamment élevés et non uniformes, une détérioration se produit généralement par un mécanisme dit d'arborisation.

Dans des matériaux de structure moléculaire différente, ce processus d'arborisation électrique débute à différents niveaux de contrainte, indiquant des degrés variés de résistance à la formation des arborescences.

Les arborescences qui se développent par un mécanisme de dégradation résultant de gradients électriques élevés et non uniformes ou de décharges partielles sont appelées arborescences électriques pour les distinguer des arborescences aqueuses et des arborescences électrochimiques qui sont tout à fait différentes.

L'arborisation électrique, quand elle se produit dans l'isolation haute-tension, débute souvent aux bords des électrodes, à des aspérités et à des particules conductrices qui sont des régions de contrainte électrique localisée intense. Les essais d'arborisation utilisent des électrodes aiguilles pour simuler de telles intensifications du champ.

La reproductibilité des propriétés caractéristiques mesurées, dans le cas présent la tension caractéristique et la durée de vie sous champ divergent, dépend de nombreux facteurs. Certains d'entre eux, dont la liste suit, ont été identifiés:

- différences dans la géométrie de la pointe de l'aiguille;
- contraintes résiduelles ou orientations dans l'éprouvette produites par l'insertion de l'aiguille;
- inclusions ou vacuoles dans l'éprouvette;
- produits incorporés dans les éprouvettes qui peuvent exsuder ou s'étaier sur la surface produisant un film suffisamment conducteur pour modifier le champ électrique autour de la pointe de l'aiguille;
- différences dans l'histoire thermique ou le procédé de mise en œuvre, particulièrement dans les matériaux contenant des composants volatils qui peuvent affecter la susceptibilité à l'arborisation.

b) Test methods for evaluating resistance to tree inception

When solid organic dielectrics are subjected to sufficiently high and non-uniform electrical gradients, failure generally occurs through a mechanism called treeing.

In materials with different molecular structures, this electrical treeing process initiates at different levels of stress, indicating different degrees of resistance to tree initiation.

Trees that grow by a degradation mechanism resulting from high and non-uniform electrical gradients or from partial discharges are called electrical trees to distinguish them from electrochemical and water trees which are quite different.

Electrical treeing, when it occurs in high voltage insulation, often starts at corners of electrodes, asperities and conducting particles which are regions of intense localized electrical stress. Treeing tests use needle electrodes to simulate such field enhancements.

The reproducibility of measured characteristic properties, in this case the characteristic voltage and the divergent field life, depends on many factors. Some of these have been identified as follows:

- differences in the geometry of the needle point;
- residual strains or orientation in the specimen produced by needle insertion;
- inclusions or voids in the specimen;
- agents included in the specimens which may exude or spread out on the surface producing a film which is sufficiently conductive to alter the electric field around the needle point;
- differences in thermal history or processing, specifically for materials containing volatile components which can affect the susceptibility to treeing.

MÉTHODES D'ESSAIS POUR ÉVALUER LA RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX ISOLANTS À LA FORMATION D'ARBORESCENCES ÉLECTRIQUES

SECTION 1: GÉNÉRALITÉS

1.1 Domaine d'application et objet

Le présent Rapport technique décrit deux méthodes d'essai pour estimer et comparer la résistance des matériaux diélectriques solides à la formation de figures arborescentes, c'est-à-dire de réseaux de canaux tubulaires dans lesquels des décharges partielles peuvent se produire, sous une contrainte électrique de courte durée, en champ fortement divergent.

L'essai est principalement utilisé aux fréquences industrielles (48 Hz à 62 Hz).

L'essai est généralement effectué à la température ambiante. Il convient, si d'autres températures sont envisagées, qu'elles ne s'écartent pas de la gamme de températures d'utilisation normale du matériau à essayer.

1.2 Références normatives

Les normes suivantes contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui en est faite, constituent des dispositions valables pour le présent Rapport technique. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Toute norme est sujette à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur le présent Rapport technique sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des normes indiquées ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes Internationales en vigueur à un moment donné:

CEI 60-1: 1989, *Techniques des essais à haute tension - Définitions et prescriptions générales relatives aux essais.*

CEI 60-3: 1976, *Techniques des essais à haute tension - Troisième partie: Dispositifs de mesure.*

CEI 270: 1981, *Mesure des décharges partielles.*

1.3 Définitions

Pour les besoins du présent Rapport technique, les définitions suivantes s'appliquent:

arborescence électrique: Réseau de canaux tubulaires en forme d'arbre dans un matériau diélectrique solide, formé par un mécanisme de dégradation résultant de gradients de champ électrique élevé et non uniforme, ou de décharges partielles.

arborisation électrique: Formation d'arborescences électriques.

arborisé (adjectif): Présentant des figures arborescentes.

METHODS OF TEST FOR EVALUATING THE RESISTANCE OF INSULATING MATERIALS AGAINST THE INITIATION OF ELECTRICAL TREES

SECTION 1: GENERAL

1.1 Scope and object

This Technical Report describes two methods for evaluating and comparing the resistance of solid dielectric materials to the initiation of tree-like patterns, i.e. a network of tubular channels wherein partial discharges may occur, during short-time stressing, with a highly divergent electric field.

The tests are primarily used at power frequencies (48 Hz - 62 Hz).

The tests are generally carried out at room temperature. If other temperatures are desired, these should not exceed the range of normal use of the material to be tested.

1.2 Normative references

The following standards contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this Technical Report. At the time of publication of this Technical Report, the editions indicated were valid. All standards are subject to revision, and parties to agreements based on this Technical Report are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the standards indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 60-1: 1989, *High-voltage test techniques - General definitions and test requirements.*

IEC 60-3: 1976, *High-voltage test techniques - Part 3: Measuring devices.*

IEC 270: 1981, *Partial discharge measurements.*

1.3 Definitions

For the purpose of this Technical Report, the following definitions apply:

electrical tree: Tree-like network of tubular channels in a solid dielectric material formed by a degradation mechanism resulting from high and non-uniform electrical gradients or partial discharges.

electrical treeing: Formation of electrical trees.

treed (adjective): Presenting tree-like patterns.

SECTION 2: MÉTHODE A - ESSAI À UNE AIGUILLE: GÉOMÉTRIE POINTE-PLAN

2.1 Résumé de la méthode

La méthode applique une série d'échelons de tension croissante d'une durée de 1 min à un groupe d'au moins 10 éprouvettes. Un examen des arborescences est effectué à la fin de chaque échelon et seules les éprouvettes sans arborescences sont soumises à l'essai à tension supérieure. Le nombre de formations d'arborescences à chaque échelon de tension est compté. La distribution finale des nombres de formations d'arborescences à chaque échelon suit généralement une loi normale, et la tension moyenne est notée comme la tension caractéristique de l'essai à une aiguille. D'autres distributions peuvent aussi bien convenir.

Cette méthode utilise une géométrie pointe-plan comme configuration d'électrodes. L'aiguille est insérée par chauffage, coulée ou moulée dans les blocs de matériau à essayer et les blocs sont appliqués avec une légère pression sur l'électrode plane.

La tension caractéristique de l'essai à une aiguille est la moyenne de la distribution des tensions de début d'arborescence auxquelles des canaux de décharges partielles apparaissent quand on applique la tension par échelons successifs de 1 min.

2.2 Appareillage

2.2.1 Alimentation

L'alimentation doit fournir une tension sinusoïdale de fréquence industrielle de 50 Hz ou 60 Hz et être équipée d'une commande continue de tension et d'un dispositif de coupure fonctionnant à un niveau de courant réglable. Lorsque les éprouvettes sont connectées, le rapport de la tension de crête à la tension efficace d'essai doit être égal à $\sqrt{2} \pm 5\%$ pour toutes les tensions supérieures à 50 % de la tension d'apparition d'arborescences.

Il convient que l'on puisse faire croître la tension de zéro à un niveau défini à l'avance en 1 s à 2 s. Il convient également que la décroissance et la coupure de la haute tension puissent aussi se faire dans les mêmes conditions.

Un voltmètre de crête doit être utilisé et la valeur lue divisée par $\sqrt{2}$ pour obtenir la valeur efficace (voir la CEI 60-3).

2.2.2 Electrodes aiguilles

Les électrodes aiguilles doivent avoir un rayon de courbure à la pointe de 3 μm et un angle au sommet de 30°. Le diamètre préférentiel de l'aiguille est de 0,7 mm à 1,0 mm.

NOTE - Ces aiguilles peuvent être trouvées chez des fournisseurs comme: Oguri Jewel Industry Co. Ltd., 7-12 Omori Kita 5-Chome, Ota-Ku, Tokyo 143, Japan.

Avant utilisation, les électrodes aiguilles doivent être nettoyées selon les techniques habituelles de laboratoire en prenant soin de ne pas endommager la pointe de l'aiguille. Chaque aiguille doit être examinée avant nettoyage pour vérifier le rayon et la forme de la pointe.

SECTION 2: METHOD A - THE SINGLE-NEEDLE TEST: NEEDLE-TO-PLANE GEOMETRY

2.1 Summary of method

The method applies a series of 1 min steps of increasing stress to a group of at least 10 specimens. An examination for trees is performed at the end of each step and only untreed specimens are subjected to testing at higher voltage. The number of tree initiations at each voltage step is counted. The resulting distribution of the numbers of tree initiations at each step is generally fitted to a normal distribution, and the mean voltage is reported as the single-needle test characteristic voltage. Other distributions may be just as acceptable.

This method uses a needle-to-plane geometry as the electrode configuration. The needles are inserted by heat, moulded or cast into blocks of the material to be tested and the blocks pressed lightly against the plane electrode.

The single-needle characteristic voltage is the mean of the distribution of tree-inception-voltage-steps at which, when voltage is applied for successive 1 min intervals, partial discharge channels are formed.

2.2 Apparatus

2.2.1 Power supply

The power supply shall have a sinusoidal voltage output at power frequencies of 50 Hz or 60 Hz and be equipped with a continuous voltage control and a circuit breaking device operating at a controlled current level. With the test specimens in the circuit, the ratio of the crest to the root mean square (r.m.s.) test voltage shall be equal to $\sqrt{2} \pm 5\%$ at all voltages greater than 50 % of the tree initiation voltage.

It should be possible to raise the voltage from zero up to a predefined level within 1 s to 2 s. An analogous operation for lowering and then switching off the high voltage shall also be possible.

A peak reading voltmeter shall be used with the reading divided by $\sqrt{2}$ to obtain the r.m.s. value (see IEC 60-3).

2.2.2 Needle electrodes

The needle electrodes shall have a tip radius of 3 μm , and an included angle of 30°. The preferred overall needle diameter is 0,7 mm to 1,0 mm.

NOTE - Needles may be obtained from suppliers such as: Ogur Jewel Industry Co. Ltd., 7-12 Omori-Kita 5 Chome, Ohta-Ku, Tokyo 143, Japan.

Prior to use, the needle electrodes shall be cleaned according to usual laboratory practice but taking care not to damage the needle tip. Each needle shall be inspected for tip radius and shape before cleaning.

2.2.3 *Eprouvettes d'essai*

Les éprouvettes d'essai doivent avoir les dimensions indiquées en figure 1a. Si la susceptibilité à l'arborescence électrique doit être détectée par la méthode décrite en 2.3.1, il est recommandé d'utiliser l'éprouvette indiquée en figure 1b. La face inférieure, côté terre, de chaque éprouvette, peut être revêtue d'une couche conductrice convenable.

Pour les matériaux thermoplastiques, des plaques du matériau échantillon, d'une épaisseur de 6 mm, sont préparées dans une presse hydraulique chauffée, avec une feuille de démoulage appropriée. A partir de ces plaques, des blocs éprouvettes sont découpés et débarrassés de leurs bavures aux arêtes, si nécessaire. Des éprouvettes cylindriques, conformes à la figure 1b peuvent aisément être obtenues par fusion-compression ou par extrusion.

Pour l'insertion des électrodes aiguilles, les éprouvettes sont mises dans un dispositif comportant une rainure convenablement placée et portant les électrodes aiguilles. Il convient que, pendant l'introduction des blocs éprouvettes dans le dispositif, les pointes des aiguilles soient maintenues de sorte qu'elles ne touchent pas la surface des éprouvettes. Les dispositifs munis des aiguilles et les éprouvettes sont chauffés jusqu'à une température à laquelle un ramollissement suffisant du matériau échantillon permet l'insertion des aiguilles dans les éprouvettes sans dommage pour les pointes et sans risque de formation de fractures mécaniques au-delà de ces pointes (par exemple 80 °C pour le PE-LD (polyéthylène basse densité) ou le PE-X (polyéthylène réticulé)). Lorsque la température désirée a été atteinte et maintenue pendant 20 min, le dispositif est sorti de l'étuve et les aiguilles sont introduites lentement dans les éprouvettes pour obtenir une distance de 8 mm entre les électrodes, puis calées dans cette position. Après refroidissement à la température ambiante, les éprouvettes sont prêtes pour les essais et aucun calage ultérieur des aiguilles en position n'est plus nécessaire.

Pour les matériaux élastomériques, il convient que les aiguilles soient fixées dans leur position d'insertion même après refroidissement et on doit utiliser un dispositif d'insertion permettant d'éviter tout mouvement de l'aiguille pendant l'essai.

Pour les résines de coulée, les électrodes aiguilles sont mises en position comme prescrit avant de couler la résine autour d'elles.

2.2.4 *Disposition des éprouvettes pour l'essai*

Pour les essais selon les méthodes 2.3.1 a) ou 2.3.1 b), au moins 10 éprouvettes conformes à la figure 1a sont disposées en rangées distantes de 25 mm sur une plaque de matériau conducteur (par exemple plaque d'aluminium ou de laiton ayant les arêtes et les coins arrondis avec un rayon de préférence $\geq 1,0$ mm). Les espaces entre les rangées d'éprouvettes sont remplis, sur une hauteur d'au moins 12 mm de blocs du matériau en essai convenablement découpés, de façon que chaque pointe d'aiguille soit complètement entourée par le matériau échantillon (compte non tenu des petits espaces d'air subsistants) et que la distance minimale entre les électrodes aiguilles elles-mêmes ou entre électrodes aiguilles et bords de la plaque soit de 25 mm. Lorsque l'on utilise des éprouvettes conformes à la figure 1b, ces exigences sont automatiquement satisfaites. Les électrodes aiguilles sont enfin raccordées à l'alimentation haute tension par l'intermédiaire d'une deuxième plaque conductrice à bords arrondis maintenue à une distance ≥ 40 mm de l'électrode de masse de façon que la répartition du champ électrique à l'extérieur du dispositif d'essai soit bien définie. Cela peut être réalisé au moyen de supports adéquats.

2.2.3 Test specimens

Test specimens shall have the dimensions indicated in figure 1a. If, however, the susceptibility to electrical treeing is to be detected by the method described in 2.3.1 c) then the specimen shown in figure 1b is recommended for use. The lower (earthed) plane of each specimen may be coated with a suitable conductive layer.

For thermoplastic materials, plaques of the sample material with a thickness of 6 mm are prepared in a heated hydraulic press with an appropriate release foil. From these plaques specimen blocks are cut and fringes at the edges of the specimen blocks are removed if necessary. Cylindrical specimens according to figure 1b can easily be obtained by melt compression or by extrusion.

In order to insert the needle electrodes, the specimens are put into a device with a suitably placed slot containing the needle electrodes. During insertion of specimen blocks into the device, the needle tips should be positioned so as not to touch the specimen surface. The devices containing needles and specimens are heated up to a temperature at which sufficient softening of the sample material allows insertion of the needles into the specimens without damage of needle tips or production of mechanical cracks in the specimens in front of the needle tips (e.g. at 80 °C for PE-LD (low density polyethylene) or PE-X (cross linked polyethylene)). After the sample temperature has been reached and maintained for 20 min, the device is taken from the oven and the needles are slowly advanced into the specimens to give an electrode separation of 8 mm and fixed in this position. After cooling to room temperature the specimens are ready for test and no further fixing of needle position is necessary.

In rubbery materials the needles should be fixed in their inserted position even after cooling and a needle insertion device shall be used which will prevent needle motion during the test.

For casting resins, the needle electrodes are positioned as required before the resin is cast around them.

2.2.4 Specimen arrangement for testing

For testing according to methods 2.3.1 a) or 2.3.1 b), at least 10 specimens according to figure 1a are positioned in rows with 25 mm distance on a plane of conducting material (e.g. an aluminium or brass plate with rounded edges and corners with a recommended radius $\geq 1,0$ mm). The gaps between the specimen rows are filled to a minimum height of 12 mm with appropriately cut blocks of the material to be tested in such a way that each needle tip - regardless of small remaining gaps - is completely surrounded by sample material and the minimum distance between needle electrodes or needle electrodes and plate edges is 25 mm. When using specimens according to figure 1b these requirements are automatically fulfilled. Finally the needle electrodes are connected with the high-voltage supply in such a way that the outer electrical field boundary conditions of the test arrangement are well defined, by means of a second plate with rounded edges at high-voltage potential kept at a distance of ≥ 40 mm from the ground electrode. This may be achieved by the use of suitable supports.

Un exemple de disposition avec des éprouvettes conformes à la figure 1a est illustré dans la figure 2.

Pendant l'essai, tout le dispositif est immergé dans un fluide ayant les propriétés diélectriques requises. Il convient que la permittivité du fluide ne s'écarte pas de plus de 20 % de celle du matériau des éprouvettes.

Pour les essais selon la méthode 2.3.1 c), chaque éprouvette est placée dans un dispositif d'essai adéquat, qui doit être lui-même exempt de décharges partielles; sous la plus haute tension prévue, avec la sensibilité de détection des décharges requise (normalement 1 pC). L'utilisation d'éprouvettes conformes à la figure 1b ne nécessite pas, en général, l'immersion dans l'huile.

2.3 Mode opératoire

Commencer l'essai par l'application, à au moins 10 éprouvettes, d'une tension sous laquelle on ne s'attend pas à l'apparition d'arborescences électriques. Pour éviter des surtensions incontrôlables au moment de l'application de la tension, il convient de faire croître celle-ci de zéro au niveau voulu en 1 s à 2 s.

2.3.1 Détection de l'apparition des arborescences

La présence d'arborescences peut être détectée par différentes méthodes comme:

- a) observation directe avec un microscope;
- b) découpage en tranches de l'éprouvette avec un microtome et examen des tranches au microscope;
- c) détection directe des décharges partielles aux différentes tensions appliquées pendant 1 min. Une seule éprouvette est essayée à la fois.

Lorsque l'essai est fait selon la méthode a) ou b), la tension est rapidement réduite à zéro et coupée. Après l'application de la contrainte, les éprouvettes sont observées de façon à déterminer s'il y a eu ou non formation d'arborescences. Une éprouvette est considérée comme défailtante par apparition d'arborescences à la tension sous laquelle des canaux d'arborescences visibles - quelle que soit leur longueur - sont détectés avec le grossissement indiqué plus loin.

Lorsque l'essai est fait selon la méthode c), le premier palier de tension est appliqué comme dans les méthodes a) et b). Au lieu d'abaisser la tension à zéro et de retirer les éprouvettes pour observation, la tension est augmentée en 1 s jusqu'au niveau suivant, tout en surveillant en permanence l'apparition de décharges partielles. Une éprouvette est considérée comme défailtante à la tension sous laquelle apparaissent des décharges permanentes d'une amplitude de 5 pC (ou d'une autre amplitude donnée). La tension est alors coupée, et l'éprouvette peut être également observée comme en a) ou b) si on le désire.

La méthode a) est applicable aux matériaux suffisamment transparents, comme le PE-LD, le PE-X et les résines époxydes non chargées. L'observation microscopique directe est satisfaisante si elle est faite par transmission et avec un grossissement de 50. Si les éprouvettes ne peuvent pas être contrôlées de cette façon, la méthode b) doit être utilisée et l'observation microscopique est faite comme ci-dessus ou, si nécessaire, en lumière réfléchie et sous un grossissement plus élevé de 250.

An example for an arrangement using specimens according to figure 1a is illustrated in figure 2.

During the test, the whole arrangement is immersed in a fluid possessing the required dielectric properties. The permittivity of the fluid should be within 20 % of the permittivity of the test specimens.

For testing according to method 2.3.1 c), single test specimens are positioned in a suitable test arrangement which itself is discharge-free at the highest anticipated applied voltage, with the requisite discharge detection sensitivity (normally 1 pC). Using specimens according to figure 1b does not in general require the use of an immersion oil.

2.3 Test procedure

Commence the test by stressing at least 10 specimens at a voltage where no electrical trees are expected to appear. To avoid uncontrollable over-voltage peaks when applying this voltage, it should be raised from zero to the set level during a period of between 1 s and 2 s.

2.3.1 Detection of tree inception

Trees may be detected by various methods such as:

- a) direct optical inspection by means of a microscope;
- b) slicing of the specimen by means of a microtome and subsequent microscopic inspection;
- c) direct detection of partial discharges at the respective 1 min stressing voltages. Only one specimen is tested at a time.

When testing according to method a) or b), the voltage is rapidly decreased to zero and switched off. After stress exposure, the specimens are inspected to see whether or not a tree has been initiated. The specimen is considered failed by tree inception at the voltage level at which visible treeing channels - whatever their length - are detected under the magnification given below.

When testing according to method c), the first voltage step is identical with that of methods a) and b). Instead of lowering the voltage to zero and removing and inspecting the samples, the voltage is raised within 1 s to the next higher voltage while continuously monitoring partial discharge activity. The specimen is considered failed at the voltage level at which continuous discharges at the 5 pC (or other predefined) level occur. The voltage is then switched off, and the specimen may in addition be inspected as in a) or b) if desired.

Method a) is suitable for sufficiently transparent materials, such as PE-LD, PE-X, and unfilled epoxy resins. Direct microscopic inspection is satisfactory if it is made using transmitted light and a magnification of 50 times. If specimens cannot be checked in this way, method b) is to be applied and microscopic inspection is carried out as described before or, if necessary, by incident light and at higher magnification of 250 times.

Parmi les méthodes de détection optique, on doit bien faire la différence entre l'observation non destructive (méthode a) et l'observation destructive (méthode b).

Un autre procédé non destructif de contrôle de l'arborescence est donné par la méthode c).

2.3.2 Essai avec observation non destructive des éprouvettes

Si aucune arborescence n'a été trouvée dans une éprouvette par une observation non destructive, cette éprouvette est soumise à un autre niveau de contrainte plus élevé pendant 1 min. Toute éprouvette défailante par apparition d'arborescences est retirée du lot et remplacée par une éprouvette facile du même matériau échantillon, sans électrode aiguille. L'ensemble des éprouvettes est ensuite soumis à l'échelon de tension suivant, plus élevé de 1 kV que le précédent et ainsi de suite, jusqu'à ce que toutes les éprouvettes présentent des arborescences électriques.

2.3.3 Essai avec observation destructive des éprouvettes

Si on ne peut pas employer une méthode non destructive de détection de l'apparition d'arborescences, toutes les éprouvettes doivent être détruites.

Par conséquent, chaque niveau de contrainte requiert un nouveau lot d'éprouvettes. Le nombre minimal d'éprouvettes doit être de 10. L'essai doit commencer à un niveau de tension de 5 kV, en augmentant la contrainte par intervalles de 5 kV de façon à réduire le temps de recherche du seuil (première défailance). L'essai est ensuite poursuivi par échelons de 1 kV à partir du seuil ainsi déterminé. L'essai est terminé au niveau de tension auquel toutes les éprouvettes présentent des arborescences électriques.

2.4 Analyse des résultats d'essai

2.4.1 Analyse des résultats avec détection non destructive

Avec la méthode d'essai décrite en 2.3.2, on obtient une distribution de fréquence d'apparition des arborescences à différents niveaux de contrainte qui peut être caractérisée par la moyenne et l'écart type, et correspond en général à une loi normale. D'autres distributions peuvent aussi convenir. Dans certains cas, il peut se faire qu'une distribution de fréquence soit mieux caractérisée par une loi bimodale ou plurimodale. Il convient de l'indiquer dans le rapport d'essai, de même que l'intervalle de confiance à 95 % de la moyenne, qui dépend de la taille de l'échantillon.

2.4.2 Analyse des résultats avec détection destructive

Avec le mode opératoire décrit en 2.3.3, on obtient une distribution de fréquence cumulée d'apparition des arborescences à différents niveaux de contrainte. Il est recommandé d'effectuer une analyse permettant de transposer le résultat brut en une distribution simple de fréquence par nombre de défaillances à tous les niveaux inférieurs de contrainte. Par exemple, si dix défaillances se produisent à 21 kV et huit à 20 kV, on attribue deux défaillances à 21 kV. On ne tient pas compte des niveaux de contrainte où l'on trouve un nombre de défaillances moindre qu'aux niveaux inférieurs. Par exemple, si quatre défaillances se produisent à 18 kV et cinq à 17 kV, on attribue zéro défaillance à 18 kV. Cette distribution de fréquence est caractérisée comme indiqué précédemment.

Amongst the optical detection methods one has to differentiate between non-destructive inspection (method a)) and destructive inspection (method b)).

Another non-destructive procedure for treeing-control is given by method c).

2.3.2 *Test with non-destructive inspection of specimens*

If no tree has been found in a specimen by a non-destructive inspection, such a specimen is exposed to a further higher stress level of 1 min duration. A specimen failed by tree inception is removed from the set and replaced by a dummy of sample material without a needle electrode. Then the set of specimens is exposed to further voltage stressing, each step at a voltage 1 kV higher than before, until all specimens show electrical trees.

2.3.3 *Test with destructive inspection of specimens*

If non-destructive methods for tree inception detection are not applicable all the specimens must be destroyed.

Thus, each stress level requires a new set of specimens. The minimum number of specimens shall be 10. The test shall start at a stress level of 5 kV, increasing the stress in increments of 5 kV in order to minimize the effort to find the lower limit (first failure). The test is continued with 1 kV steps from the lower limit thus determined. The test is terminated at that voltage level at which all specimens show electrical trees.

2.4 Analysis of test results

2.4.1 *Analysis of results by non-destructive detection*

By the test procedure described in 2.3.2, a frequency distribution of tree inception at different stress levels results, which can be characterized by the mean and standard deviation, and may, in general, be fitted to a Gaussian distribution. Other distributions may be just as acceptable. Sometimes it may happen that a frequency distribution can be better characterized as bi- or multi-modal. This should be noted in the test report. The 95 % confidence limit of the mean, which depends on the size of the sample, should be noted as well.

2.4.2 *Analysis of results by destructive detection*

By the test procedure described in 2.3.3, the result is a cumulative frequency distribution of tree inception at different stress levels. An analysis is recommended whereby the primary result is reduced to a simple frequency distribution by number of failures at all lower stress levels. For instance, if ten failures occur at 21 kV and eight at 20 kV, assign two failures to 21 kV. Those stress levels where a lesser number of initiated trees are found than at lower stresses are disregarded. For instance, if four failures occur at 18 kV and five at 17 kV, assign zero failure to 18 kV. This frequency distribution is characterized as described before.

2.5 Rapport

Les données concernant les essais doivent être présentées aussi complètement que possible. Le rapport doit comporter dans tous les cas :

- a) le matériau essayé;
- b) le nombre d'éprouvettes essayées;
- c) le conditionnement avant essai;
- d) les conditions d'essai (par exemple température);
- e) le type d'éprouvette utilisé (dimensions, forme);
- f) les électrodes utilisées (diamètre, rayon à la pointe, angle au sommet);
- g) le type de détection des arborescences utilisé (visuelle, décharges partielles);
- h) les tensions de formation des arborescences;
- i) la méthode d'analyse utilisée (loi normale, loi de Weibull) et valeur moyenne ou tension d'apparition des arborescences à 63,2 % de probabilité selon le cas.

2.6 Précision et justesse

Un essai circulaire a été effectué par cinq laboratoires sur des éprouvettes de PE-LD et de résine époxyde à une seule aiguille dans le cadre d'un groupe de travail de la CEI. Les résultats peuvent être résumés comme suit (voir les détails dans l'annexe B):

	PE-LD	Résine époxyde
Tension caractéristique moyenne (kV)	12,63	23,3
Ecart-type (entre laboratoires) (kV)	1,24	2,44
Coefficient de variation moyen \bar{V} (%)	13,1	34,5
Ecart-type sur \bar{V} (%)	2,1	11,0

La justesse de cette méthode n'a pas été déterminée en raison de l'absence de matériau de référence.

Le groupe de travail a étudié la "durée de vie sous tension d'arborescence" et a conclu que la dispersion entre laboratoires était excessive.

2.5 Report

Data concerning the experiment shall be presented as completely as possible. The report shall in any case include:

- a) material tested;
- b) number of specimens tested;
- c) conditioning prior to testing;
- d) test conditions (e.g. temperature);
- e) type of specimen used (size, shape);
- f) electrodes used (diameter, tip radius, included angle);
- g) type of tree detection employed (visual, partial discharge);
- h) tree initiation voltages;
- i) analytical procedure (Gauss, Weibull analysis) used and hence mean or 63,2 % value of tree initiation voltage.

2.6 Precision and bias

A round robin of five laboratories on PE-LD and epoxy resin single-needle (SN) specimens has been run within an IEC working group. The summary of the data is as follows (for details see Annex B):

	<i>PE-LD</i>	<i>Epoxy resin</i>
Mean characteristic voltage (kV)	12,68	23,3
Standard deviation (between laboratories) (kV)	1,24	2,44
Mean variation coefficient \bar{V} (%)	13,1	34,5
Standard deviation of \bar{V} (%)	2,1	11,0

The bias of this method has not been determined since there is no standard material.

The working group examined "treeing voltage life" and concluded that the scatter between laboratories was excessive.

SECTION 3: MÉTHODE B - ESSAI À DEUX AIGUILLES: GÉOMÉTRIE POINTE-POINTE

3.1 Résumé de la méthode

Dans cette méthode des éprouvettes sont préparées et des aiguilles insérées pour servir d'électrodes. La tension est appliquée aux aiguilles et maintenue pendant 1 h ou jusqu'à ce qu'un claquage se produise. On donne comme résultat la tension à laquelle la moitié des éprouvettes présente une dégradation diélectrique en 1 h, ou le temps médian jusqu'à défaillance d'un groupe d'éprouvettes soumis à une tension permanente.

Cette méthode met en jeu deux électrodes cylindriques fines opposées, l'une taillée en pointe, l'autre en calotte hémisphérique. Elles sont moulées ou insérées dans des blocs du matériau à essayer.

3.2 Signification et usage

Il s'agit d'un essai de laboratoire destiné à simuler les effets:

- a) de la présence d'interfaces irrégulières entre conducteur ou écran semi-conducteur et isolation principale dans un système d'isolation;
- b) de la présence de particules étrangères (contaminants) dans un système d'isolation;
- c) de la présence de vacuoles ou de cavités dans l'isolation.

3.3 Terminologie

3.3.1 tension caractéristique ou VCDA (tension caractéristique à deux aiguilles): Tension appliquée pendant 1 h entre deux électrodes cylindriques fines (l'une taillée en pointe, l'autre en calotte hémisphérique) sur un groupe d'éprouvettes identiques, sous laquelle se produit une dégradation diélectrique observable à l'extrémité de l'aiguille en pointe dans la moitié des éprouvettes.

3.3.2 durée de vie sous tension (t_{50}): Temps au bout duquel 50 % d'un groupe d'éprouvettes identiques soumises à la même contrainte de tension présente une défaillance.

3.3.3 décharge partielle (Voir la CEI 270).

3.4 Appareillage

3.4.1 Alimentation

Alimentation à haute tension délivrant une tension sinusoïdale à la fréquence industrielle, équipée d'une commande continue de tension et d'un dispositif de protection par coupure automatique fonctionnant à un niveau de courant réglable (voir la CEI 60-1).

SECTION 3: METHOD B - THE DOUBLE-NEEDLE TEST: NEEDLE-TO-NEEDLE GEOMETRY

3.1 Summary of method

In this method specimens are prepared and needles inserted to serve as electrodes. Voltage is applied to the needles and maintained for 1 h or until electric breakdown occurs. Results are expressed as the voltage at which half of the specimens show dielectric damage in 1 h, or the median time to failure of a group of specimens subjected to continuous voltage.

This method makes use of two opposing thin cylindrical electrodes, one sharpened to a point, the other with a hemispherical end. They are moulded or inserted into blocks of the material to be tested.

3.2 Significance and use

This is a laboratory test designed to simulate the effects of:

- a) the presence of rough interfaces between conductor or semiconductive screen and primary insulation in an insulation system;
- b) the presence of foreign particles (contaminants) in an insulation system;
- c) the presence of small voids or cavities within the insulation.

3.3 Terminology

3.3.1 characteristic voltage or DNCV (double-needle characteristic voltage): That voltage which, when applied for 1 h between the ends of two thin cylindrical electrodes (one sharpened to a point, the other with a hemispherical end) in a group of identical specimens, produces observable dielectric damage at the point of the sharp electrode in half of the specimens.

3.3.2 voltage life (t_{50}): The time at which 50 % of a group of identical specimens subjected to the same voltage stress has failed.

3.3.3 partial discharge (see IEC 270).

3.4 Apparatus

3.4.1 Power supply

A high-voltage supply having a sinusoidal voltage output at power frequency equipped with continuous voltage control and an adjustable protective automatic circuit-breaking device that operates at a controllable current level (see IEC 60-1).

3.4.2 *Déconnecteur individuel à seuil de courant*

Lorsque plusieurs éprouvettes sont essayées jusqu'à défaillance, chacune doit être équipée d'un circuit de déconnexion. Le courant de déconnexion ne doit pas être supérieur à 35 mA. Des dispositions doivent être prises pour enregistrer le temps jusqu'à défaillance pour chaque éprouvette.

3.4.3 Il convient de noter que les paragraphes 3.3.2, 3.8.2, 3.9.2 et 3.10 j) concernent les essais de durée de vie sous tension et ne sont pas adaptés pour l'évaluation des caractéristiques d'apparition des arborescences. Ils sont inclus ici à titre d'information supplémentaire.

Les essais d'endurance à l'arborisation sont toujours à l'étude.

3.4.4 *Electrodes*

L'électrode cruciale est une tige d'acier ronde de 0,7 mm à 1 mm de diamètre se terminant à une extrémité par une pointe d'angle au sommet de 30° et de rayon de courbure contrôlé de 2,5 µm. L'autre électrode doit normalement avoir le même diamètre, avec une extrémité en forme de calotte hémisphérique. Les électrodes peuvent être préparées par la méthode indiquée à l'annexe A ou achetées toutes faites (voir note de 2.2.2). Ces électrodes sont soit moulées dans les éprouvettes au cours de leur préparation, soit insérées dans celles-ci à température élevée.

3.4.5 *Tour à meuler les aiguilles*

Tour pour la préparation des électrodes en pointe selon un rayon de courbure et un angle au sommet contrôlés.

3.4.6 *Moule à éprouvettes*

Moule pour la préparation en une seule étape d'éprouvettes moulées par compression avec les aiguilles en place. Un moule type est montré en figure 5.

3.4.7 *Gabarit d'insertion des aiguilles*

Un gabarit est nécessaire pour insérer lentement et de façon contrôlée les aiguilles. La figure 3 montre un exemple de gabarit.

3.5 *Echantillonnage*

L'échantillonnage doit être fait de telle sorte que les éprouvettes essayées soient représentatives du lot complet.

3.6 *Eprouvettes d'essai*

3.6.1 Les éprouvettes d'essai sont des blocs de 25 mm x 25 mm environ et d'une épaisseur de 6 mm, contenant deux électrodes aiguilles, comme le montre la figure 4. Elles peuvent être préparées par moulage par compression, par extrusion, ou découpées dans des pièces finies. Les extrémités des électrodes sont distantes de 6 mm à 12 mm pour la détermination de la tension caractéristique, et de 2 mm à 6 mm pour la détermination de la durée de vie sous tension.

3.4.2 *Current-sensitive individual specimen disconnect*

When multiple specimens are tested to failure, a disconnect circuit for each shall be used. The disconnect current shall not exceed 35 mA. Provision shall be made for recording the time to failure for each specimen.

3.4.3 It should be noted that 3.3.2, 3.8.2, 3.9.2 and 3.10 j) refer to voltage life tests and are not relevant to assess tree initiation characteristics. They are included here as additional information.

Treeing endurance tests are still under consideration.

3.4.4 *Electrodes*

The critical electrode is a round steel rod 0,7 mm to 1 mm in diameter sharpened at one end to a controlled radius of 2,5 μm and an included angle of 30°. The other electrode should have the same diameter, with the end of hemispherical shape. Electrodes may be prepared by the method given in annex A or purchased in finished form (see note to 2.2.2). These electrodes are either moulded into specimens during specimen preparation, or are inserted into specimen blocks at elevated temperature.

3.4.5 *Needle-grinding lathe*

A lathe for preparation of the sharpened electrode to a controlled point sharpness and included angle.

3.4.6 *Specimen mould*

A mould for single-step preparation of compression-moulded specimens containing needles. A typical mould is shown in figure 5.

3.4.7 *Needle-insertion jig*

A jig for slow, controlled insertion of electrodes. Figure 3 shows a needle-insertion jig.

3.5 Sampling

Sampling shall be done in such a manner that the specimens tested will represent the whole batch.

3.6 Test specimens

3.6.1 Test specimens are blocks of approximately 25 mm by 25 mm and 6 mm thick, containing two needle-like electrodes as shown in figure 4. They may be prepared by compression moulding, extrusion, or cutting from finished pieces. The tips of the electrodes are separated by 6 mm to 12 mm for characteristic voltage determination and 2 mm to 6 mm for voltage life determination.

3.6.2 Préparation des éprouvettes thermoplastiques

Des plaques du matériau échantillon, d'une épaisseur de 6 mm, sont moulées par compression dans une presse hydraulique chauffée à la vapeur ou à l'électricité et équipée d'un système de refroidissement à eau des plateaux. Utiliser un moule à pression positive, qui peut être soit du type châssis empreinte, soit du type cavité usinée. Utiliser des feuilles de séparation en cellophane, polyester ou aluminium entre les surfaces du moule et la résine. Le choix des feuilles de séparation dépend dans une certaine mesure de la température de moulage, bien que les feuilles d'aluminium nettoyées à l'alcool et soigneusement séchées soient préférables. Les dimensions du moule ne sont pas critiques: 200 mm x 200 mm sont recommandés.

3.6.2.1 Après le moulage, découper la plaque en blocs carrés de 25 mm x 25 mm avec des arêtes à angle droit et sans bavures. Stocker les blocs en atmosphère normalisée de laboratoire, 23 °C et 50 % d'humidité relative, et les protéger de la poussière et des contaminations atmosphériques jusqu'à leur emploi.

3.6.3 Insertion des aiguilles

Insérer les électrodes aiguilles dans les blocs éprouvettes lentement et avec précaution pour éviter les contraintes d'orientation, la formation de cavités et l'endommagement des pointes. Utiliser un gabarit comme celui de la figure 3, pour être sûr que toutes les aiguilles soient bien insérées dans des conditions identiques.

3.6.3.1 Effectuer l'insertion comme suit: placer les blocs éprouvettes dans les logements prévus pour elles et les serrer légèrement en place. Examiner les pointes d'aiguille après les avoir nettoyées avec de la méthyléthylcétone; ensuite, les mettre en place avec précaution dans les logements pour aiguilles sur un côté de sorte que les pointes viennent juste en contact avec les éprouvettes. Utiliser les vis de réglage individuelles pour ajuster la position des aiguilles. Glisser des cales dans les logements d'aiguille au-dessus des aiguilles et fermer la partie supérieure avec un capot. Fixer ce capot avec des petits serre-joints à chaque extrémité. Le but des cales et du capot est d'éviter que les aiguilles ne se mettent de travers et de les forcer à s'enfoncer droit dans les éprouvettes. De la même manière, placer les électrodes à bout hémisphérique dans leur logement du côté opposé des éprouvettes.

3.6.3.2 Lorsque les éprouvettes et les aiguilles sont montées, et que les aiguilles sont ajustées dans la bonne position, mettre l'ensemble du gabarit dans une étuve à circulation d'air, à 105 °C par exemple pour du polyéthylène basse densité, pour une période de préchauffage de 1 h. Pour d'autres polymères partiellement cristallins, adopter une température inférieure de 10 °C environ à celle de la transition thermodynamique du premier ordre. Après le préchauffage, enfoncer simultanément toutes les aiguilles par paliers de 1,25 mm, en faisant faire un tour complet à la vis mère. Répéter l'opération toutes les 5 min. Faire un nombre suffisant de paliers pour que l'insertion soit complète. Une distance entre électrodes de 6 mm à 12 mm est généralement utilisée pour les mesures de la tension caractéristique, tandis qu'il est préférable d'adopter 2 mm à 6 mm pour les essais de durée de vie sous tension. Pour comparer des matériaux à l'aide de cet essai, il convient d'utiliser la même distance.

3.6.3.3 Lorsque l'insertion est complète, laisser les gabarits en place au moins 30 min dans l'étuve pour permettre la relaxation des contraintes ou le recuit. Retirer les gabarits de l'étuve et laisser refroidir naturellement jusqu'à la température ambiante. Examiner, si possible, toutes les éprouvettes au microscope pour s'assurer que la pointe des aiguilles n'a pas été endommagée au cours de l'insertion.

3.6.2 Preparation of thermoplastic specimens

Sheets, 6 mm thick, of the sample material are compression-moulded in a steam or electrically heated hydraulic press equipped for cold-water cooling of the platens. Use a positive pressure mould, which may be of either the picture-frame type or the milled-cavity type. Use parting sheets of cellophane, polyester film, or aluminium foil between the mould surfaces and the resin. The choice of parting sheets depends somewhat on the moulding temperature, although aluminium sheets, washed with alcohol and thoroughly dried, are preferred. The size of the mould is not critical: 200 mm by 200 mm is recommended.

3.6.2.1 After moulding, cut the sheet into 25 mm square blocks with square and smooth edges. Store the squares under standard laboratory conditions, 23 °C and 50 % relative humidity, and protect them from dirt and atmospheric contamination until used.

3.6.3 Insertion of needles

Insert the needle electrodes into the specimen blocks slowly and carefully to avoid orientation strains, formation of cavities and damage to the sharp points. Use a jig, such as the one shown in figure 3, to ensure that every needle will be inserted under identical conditions.

3.6.3.1 Make the insertions as follows: place specimen blocks in the slots provided for them and lightly clamp into place. Inspect the sharpened needles, after cleaning with methyl ethyl ketone; then carefully place them in the needle slots on one side so their tips just touch the specimens. Use the individual adjusting screws for positioning the needles. Slip shims into the needle slots above the needles, and use a cover plate to close the top of the needle slots. Secure this cover with small C-clamps at each end. The purpose of the shims and cover is to prevent the needle from cocking, and to force it to enter straight into the specimen. Place electrodes with hemispherical ends in the slots on the opposite sides of the specimens in the same manner.

3.6.3.2 When the specimens and needles are mounted, and the needles are adjusted into proper position, place the whole jig into a circulating-air oven at, for instance, 105 °C for low-density polyethylene, for a 1 h preheating period. For other partially crystalline polymeric material use a temperature approximately 10 °C below the thermodynamic first-order transition point. After preheating, simultaneously advance the needles in 1,25 mm steps by making one full turn of the large lead screw. Repeat at 5 min intervals. Make sufficient steps to accomplish the insertion. An electrode gap of 6 mm to 12 mm is commonly used for characteristic voltage measurements, and 2 mm to 6 mm is preferred for voltage life tests. For comparison of materials by this test, the same gap should be used.

3.6.3.3 When the insertions are complete, leave the jigs untouched for at least 30 min in the oven for stress relief or annealing. Remove the jigs from the oven and cool naturally to room temperature. Examine each specimen with a microscope, if possible, to ensure that the needle point was not damaged during insertion.

3.6.4 Préparation des éprouvettes avec électrodes prises dans le moulage

Conditionnement spécifié en 3.7.

3.6.4.1 Le moule est, par exemple, de 150 mm x 25 mm et d'une épaisseur de 6 mm; il comporte six électrodes en pointe et six électrodes hémisphériques.

3.6.4.2 Pour la préparation de six éprouvettes, on peut utiliser un moule à compression qui consiste en un châssis en deux parties, rainé pour brider les électrodes pendant le moulage. Il est renforcé latéralement par une plaque métallique de soutien pour éviter qu'il ne se déforme. Des fentes pratiquées dans la plaque de soutien permettent d'ajuster les extrémités des aiguilles. Le couvercle et le fond sont constitués de plaques polies en acier inoxydable (voir figure 5).

3.6.4.3 Pour monter les aiguilles, retirer les plaques de fixation A et B. Mettre en place soigneusement les électrodes hémisphériques dans les rainures de façon que les extrémités fassent saillie de 11 mm environ dans la section creuse. Remettre en place la plaque A et serrer les vis. Mettre en place de la même façon les électrodes en pointe sur la plaque B, mais ne pas serrer les vis. Positionner les électrodes en pointe sous microscope avec échelle optique. Déplacer soigneusement chaque électrode en pointe de façon à obtenir la distance inter-électrodes spécifiée. Ensuite, serrer les vis de la plaque B. Vérifier que la distance inter-électrodes n'a pas été modifiée. Il convient de prendre soin, durant toutes les opérations, de ne pas gauchir la pointe des aiguilles.

3.6.4.4 Placer l'une des plaques polies de 200 mm x 250 mm sur le plateau inférieur de la presse à mouler. La recouvrir d'une feuille de polyester ou d'aluminium, d'une épaisseur minimale de 0,1 mm, pour éviter que la résine ne colle sur la plaque polie. Poser le châssis au milieu de cette feuille de polyester ou d'aluminium. Étendre régulièrement 30 g du matériau à mouler (par exemple du polyéthylène) dans la cavité du moule, puis poser une seconde feuille de polyester ou d'aluminium et la deuxième plaque polie sur le moule.

3.6.4.5 Mouler l'éprouvette selon une procédure agréée.

3.6.4.6 Retirer l'éprouvette en enlevant les vis des plaques A et B.

3.6.4.7 Découper le bloc de 150 mm en six éprouvettes individuelles carrées de 25 mm x 25 mm.

3.6.4.8 Examiner chaque éprouvette sous un microscope avec échelle optique et ne retenir que celles dont la distance inter-électrodes est correcte. Si une contamination ou une cavité est détectée dans la zone inter-électrodes, rejeter l'éprouvette.

3.7 Conditionnement

Après avoir achevé la préparation des éprouvettes, les maintenir pendant environ 24 h à 23 °C et dans une humidité relative de 50 % avant essai.

3.6.4 Preparation of specimens with moulded-in electrodes

Conditioning as specified in 3.7.

3.6.4.1 The moulding is, for instance, 150 mm by 25 mm and 6 mm thick, and contains six pointed and six hemispherical electrodes.

3.6.4.2 A compression mould that can be used for preparation of six specimen sheets consists of a mould, in two layers, grooved to clamp the electrodes during moulding. It is surrounded laterally by a steel back-up plate to prevent distortion of the mould. Slits cut in the back-up plate accommodate the ends of the needles. The top and bottom are polished stainless steel plates (see figure 5).

3.6.4.3 To mount the needles, remove the top clamp plates A and B. Lay the hemispherical electrodes carefully in place in the grooves so that the ends project approximately 11 mm into the hollow section. Replace plate A and tighten the screws. Follow the same procedure for the sharp electrodes under plate B, but without tightening the screws. Position the sharp electrodes under a microscope with a built-in optical scale. Carefully manipulate each sharp electrode so that the specified spacing between the opposing electrodes is obtained. Then tighten the screws in plate B. Check to see that the spacing has been maintained. Care shall be exercised throughout in order not to bend the needle points.

3.6.4.4 Place one of the 200 mm by 250 mm polished plates on the lower platen of the moulding press. Cover this with a sheet of polyester film or aluminium foil, at least 0,1 mm thick, to prevent sticking of the resin to the polished plate. Lay the mould centrally on this polyester sheet or aluminium foil. Evenly distribute approximately 30 g of the moulding material to be tested (for example, polyethylene) within the cavity in the mould. Then lay a second sheet of polyester film or foil and the second polished plate over the mould.

3.6.4.5 Mould the specimen in accordance with accepted practice.

3.6.4.6 Remove the specimens by removing the screws in both plates A and B.

3.6.4.7 Cut the 150 mm block into six 25 mm square individual specimens.

3.6.4.8 Check each specimen under a microscope with an optical scale and use the specimen only if the electrode spacing is found to be correct. If any contamination or voids are found within the test region, reject the specimen.

3.7 Conditioning

After specimen preparation is complete, store all specimens for approximately 24 h at 23 °C and 50 % relative humidity before testing.

3.8 Mode opératoire

3.8.1 Application de la tension

Préparer 40 éprouvettes d'un même échantillon. Nettoyer soigneusement à l'alcool toutes les surfaces latérales des blocs. Placer dix éprouvettes dans un support convenable prévu pour maintenir les blocs en position verticale, les plans des aiguilles étant distants de 50 mm. L'enceinte d'essai doit être assez grande pour que les distances entre le support des éprouvettes et les éprouvettes d'une part et les parois de l'enceinte d'autre part soient suffisantes pour éviter tout amorçage. Toutes les portes d'accès à l'enceinte doivent comporter une sécurité électrique. Après avoir effectué les connexions électriques des éprouvettes, fermer les portes de l'enceinte et appliquer la tension. Monter régulièrement la tension à partir de zéro jusqu'à la tension d'essai de façon que celle-ci soit atteinte en quelques secondes. La maintenir constante pendant 1 h. A la fin de ce temps, ramener la tension à zéro, couper l'alimentation et retirer les éprouvettes pour examen.

3.8.1.1 Examen des éprouvettes

Rechercher la présence d'arborescences à l'extrémité des électrodes en pointe avec un microscope de grossissement 100. Si cela est nécessaire, réduire l'épaisseur des éprouvettes pour augmenter la visibilité. Le dépôt d'une goutte d'huile d'immersion pour microscope sur les faces de l'éprouvette facilite l'examen du volume. Toute modification d'aspect à la pointe de l'aiguille est considérée comme une arborescence, que ce soit une vacuole, un canal ou une arborescence, et même des points sombres. La proportion d'éprouvettes dans lesquelles des arborescences se sont formées est désignée par "fraction d'éprouvettes arborisées". Ne pas réutiliser les éprouvettes.

NOTE - L'huile de Cargille, non desséchante, d'immersion pour microscopie est une huile convenable de haute qualité optique et d'indice de réfraction proche de celui des plastiques organiques; elle est fournie par Fisher Scientific Co., 203 Fisher Building, Pittsburgh, Pa. 15218, USA.

3.8.1.2 Reprendre le mode opératoire de 3.8.1 et 3.8.1.1, à au moins trois tensions d'essai avec défaillance de moins de la moitié des éprouvettes, et à au moins une tension avec défaillance de plus de la moitié, mais pas de la totalité des éprouvettes.

3.8.2 Essai de durée de vie sous tension en champ divergent

Opérer comme indiqué en 3.8.1, en utilisant seulement 10 éprouvettes. Appliquer la tension comme en 3.8.1, et la maintenir jusqu'à ce que la défaillance (claquage complet) de cinq éprouvettes se produise. Pour certaines études, il peut être souhaitable d'aller jusqu'à la neuvième ou dixième défaillance. Choisir une tension d'essai telle que la cinquième défaillance ne se produise pas avant 24 h d'essai. Cette tension est déterminée expérimentalement.

3.8.2.1 Noter le temps jusqu'à défaillance de chaque éprouvette.

3.9 Présentation des résultats

3.9.1 Essai de tension caractéristique

Porter les résultats d'essai sur un graphique en coordonnées rectangulaires linéaires: la tension d'essai en ordonnée et la fraction d'éprouvettes arborisées en abscisse. Il convient que les points définissent une ligne raisonnablement droite, avec une forte pente. L'intersection de cette ligne de points avec la ligne d'abscisse 50 % définit la tension caractéristique à deux aiguilles (VCDA).

3.8 Procedure

3.8.1 *Electrical stressing of specimens*

Prepare 40 specimens of one sample. Wash all lateral surfaces of the test blocks carefully with alcohol. Place ten of the specimens in a suitable specimen holder designed to support the blocks in a vertical position spaced on at least 50 mm centers. The test chamber shall be large enough to accommodate the specimen holder and specimens with sufficient clearance to prevent flashover to any parts of the chamber. All access doors to the chamber shall be electrically interlocked. After electrical connections have been made to the specimens, close the door of the chamber and apply the voltage. Raise the voltage to the test level from zero smoothly so that the desired voltage is obtained in a few seconds. Maintain it constant for 1 h. After this period, reduce the voltage to zero, turn off the power supply, and remove the specimens for inspection.

3.8.1.1 *Inspection of specimens*

Inspect for the presence of trees at the tip of the sharp electrode with a 100 x optical microscope. If necessary the specimen may be sectioned to decrease thickness and improve visibility. A drop of microscope immersion oil on the top and bottom of the specimen facilitates the recognition of internal structure. Any change in appearance at the needle tip is considered to be a tree. This includes a short hollow void, a trunk or a tree, and even dots. The number of specimens in which trees have formed is expressed as "fraction of specimens treed". Do not reuse the specimen.

NOTE - Suitable oil of high optical quality and of refractive index close to the organic plastics is Cargille's non-drying immersion oil for microscopy, supplied by Fisher Scientific Co., 203 Fisher Building, Pittsburgh, PA 15219, USA.

3.8.1.2 Repeat the procedure of 3.8.1 and 3.8.1.1, using at least three test voltages with some failures, but less than half the specimens, and at least one voltage with failure of more than half, but not all of the specimens.

3.8.2 *Divergent-field voltage life test*

Proceed as outlined in 3.8.1 preparing only 10 specimens. Apply the voltage as in 3.8.1 and maintain until failure (complete breakdown) occurs for five specimens. In some studies it may be desirable to test to the ninth or tenth failure. Select a test voltage that requires at least 24 h for the fifth failure. This voltage is determined by experimentation.

3.8.2.1 Record the time to failure of each specimen.

3.9 Presentation of results

3.9.1 *Characteristic voltage test*

Plot the results of the tests on a graph with rectangular (linear) coordinates. Designate the axes: test voltage versus fraction of specimens showing trees. The data should define a reasonably straight line with a steep slope. The intersection of this line of data points with the 50 % level defines the double-needle characteristic voltage (DNCV).

3.9.2 Essai de durée de vie

Les résultats de l'essai de durée de vie sous tension en champ divergent peuvent être exprimés par la durée de vie sous tension t_{50} d'un groupe d'éprouvettes identiques soumises à la même tension. Il est souvent utile de poursuivre l'essai jusqu'à la défaillance de la neuvième ou de la dixième éprouvette et de porter sur un papier à échelle fonctionnelle "loi normale" le pourcentage de défaillances en fonction du temps (ou du logarithme du temps). On doit obtenir une courbe montrant la distribution des défaillances et permettant d'estimer la durée de vie sous tension t_{60} .

3.10 Rapport

Le rapport doit comporter les informations suivantes:

- a) matériau essayé;
- b) nombre d'éprouvettes essayées;
- c) conditionnement avant essai;
- d) conditions d'essai;
- e) caractéristiques géométriques des éprouvettes;
- f) rayon de courbure et angle au sommet de la pointe;
- g) distance entre les électrodes;
- h) forme et dimensions des éprouvettes;
- i) tension caractéristique mesurée;
- ou
- j) durée de vie caractérisée par t_{50} .

3.11 Précision et justesse

Un essai circulaire entre quatre laboratoires sur des éprouvettes de PE-LD à deux aiguilles a été effectué dans le cadre d'un groupe de travail de la CEI. Sauf pour un essai, la tension était augmentée par paliers de 1 min. Les résultats sont résumés comme suit: (Pour les détails voir l'annexe B)

	PE-LD
Tension caractéristique moyenne (kV)	15,88
Ecart-type (entre laboratoires) (kV)	0,76
Coefficient de variation moyen, \bar{V} (%)	11,5
Ecart-type de \bar{V} (%)	1,5

La tension caractéristique à deux aiguilles, VCDA, pour ce PE-LD est de 11,5 kV si les paliers de tension sont de 1 h.

La justesse de cette méthode n'a pas été déterminée en raison de l'absence de matériau de référence.

3.9.2 Voltage life test

The results of the divergent field voltage life test may be expressed as the voltage life t_{50} of a group of identical specimens subjected to the same voltage. It is often useful to run the test until the ninth or tenth specimen fails, and plot the percentile failure against time (or logarithm of time) on Gaussian probability paper. This will produce a curve showing the distribution of the failures and allows estimation of voltage life t_{50} .

3.10 Report

The report shall include the following:

- a) material tested;
 - b) number of specimens tested;
 - c) conditioning prior to testing;
 - d) test conditions;
 - e) specimen geometry;
 - f) electrode tip radius and included angle;
 - g) electrode separation;
 - h) specimen size and shape;
 - i) measured characteristic voltage;
- or
- j) voltage life expressed as t_{50} .

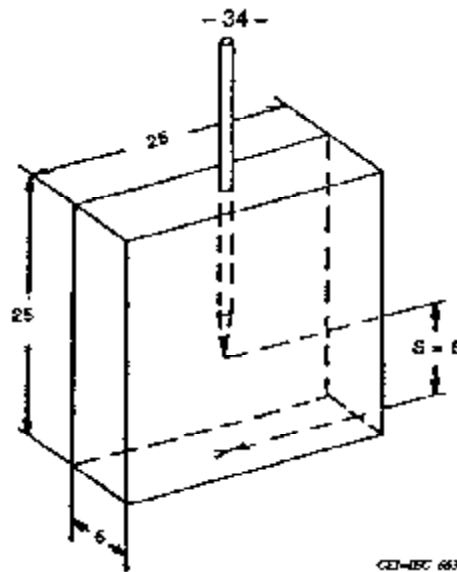
3.11 Precision and bias

A round robin of four laboratories on PE-LD double-needle (DN) specimens has been run within an IEC working group. Except for one test, 1 min voltage steps were used. The summary of the data is as follows (for details see Annex B):

	PE-LD
Mean characteristic voltage (kV)	15,88
Standard deviation (between laboratories) (kV)	0,76
Mean variation coefficient, \overline{V} (%)	11,5
Standard deviation of \overline{V} (%)	1,5

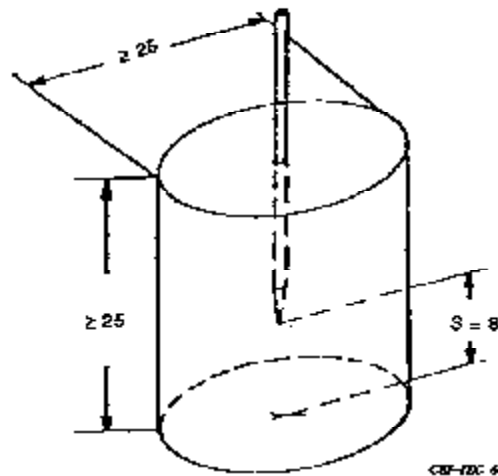
The double-needle characteristic voltage DMCV for this PE-LD using 1 h steps is 11.5 kV.

The bias of this method has not been determined since there is no standard material.



CEI-IEC 66391

Figure 1a)



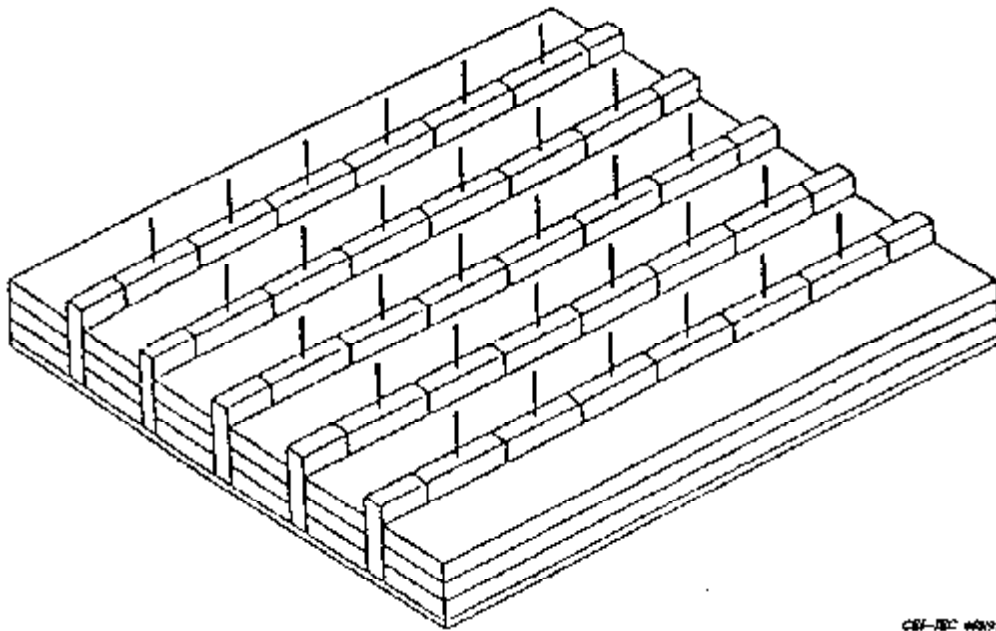
CEI-IEC 66391

Figure 1b)

Dimensions en millimètres

Dimensions in millimetres

Figure 1 - Dimensions des éprouvettes et position de l'électrode aiguille
 Size of specimens and position of needle electrode



CEI-IEC 4844891

Figure 2 - Disposition possible des éprouvettes
Possible arrangement of specimens

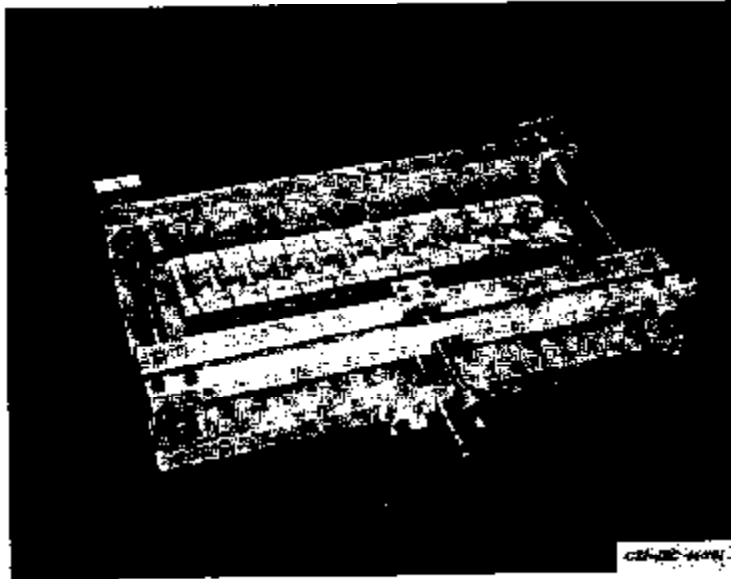


Figure 3 - Gabarit d'insertion des aiguilles
Needle insertion jig

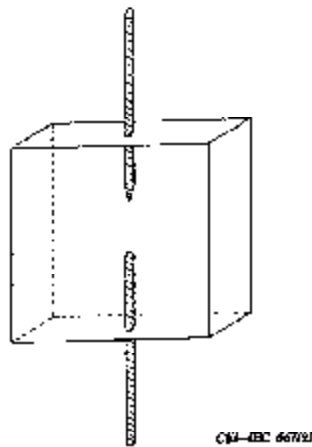
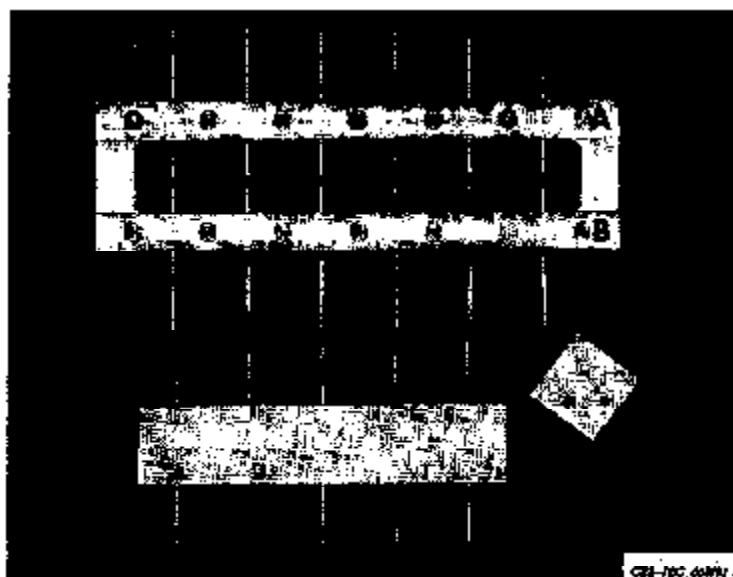


Figure 4 - Epruvette finie
Finished specimen



Plaques de serrage A et B
A and B top clamp plates

Figure 5 - Moule pour la préparation d'éprouvettes contenant les électrodes
Mould for preparation of specimens containing electrodes

Annexe A (informative)

Préparation des électrodes aiguilles

Utiliser des aiguilles à coudre normales appelées "n° 7 sharps", ayant un diamètre de tige de 0,7 mm environ, une longueur de 37,5 mm et un diamètre de pointe de 0,025 mm environ. Couper l'extrémité comportant le chas avec une pince et fixer l'aiguille dans le mandrin d'un tour de façon à en laisser sortir 5 mm. Il est plus facile et plus rapide d'effectuer ce meulage de précision avec une broche de tour d'horloger et une douille de précision en acier à la place du mandrin courant. Aiguiser la pointe en forme de cône avec un angle au sommet de 30° par meulage contre une meule rotative montée sur un porte-outil à meuler. La meule doit être en pierre, d'un grain très fin et très dur.

NOTE - Des meules de 50 mm de diamètre, 6 mm d'épaisseur et avec un trou de 8 mm pour l'arbre peuvent être obtenues chez Abrasives Distributors, 28 W. Passare St., Rochell Park, N.J. 07862, USA.

Effectuer le meulage en faisant tourner l'aiguille et la meule en sens inverse, à 3 500 et 10 000 t/min respectivement. Humidifier la meule avec quelques gouttes de pétrole avant l'opération et contrôler le meulage en permanence avec un microscope binoculaire de grossissement 10 installé directement au-dessus de l'aiguille, et éclairé par une petite lampe spot de microscope. Lorsque la pointe de l'aiguille est suffisamment fine, la retirer et la conserver provisoirement la pointe en haut et sans la toucher, en attendant que plusieurs autres aiguilles aient été préparées de la même façon. Ce groupe d'aiguilles peut atteindre 30 unités, ce qui est à peu près le nombre maximal d'aiguilles qui peuvent être aiguisées avant que la surface de la meule n'ait besoin d'être rectifiée. Observer soigneusement l'aiguisage, car c'est la meilleure façon de déterminer à quel moment l'aiguille ne s'aiguisé pas comme prévu et si une rectification est nécessaire. Dans certains cas, cela peut se produire seulement après que quelques aiguilles ont été aiguisées. Pour rectifier la meule, utiliser un outil en diamant, monté horizontalement et faisant un angle de 75° avec l'axe du tour. La rectification est faite à sec.

Lorsqu'un groupe d'aiguilles a été préparé, observer chaque aiguille sous un microscope avec un grossissement 100, pour s'assurer que les pointes sont polies, coniques et aiguisées. Celles qui paraissent satisfaisantes sont ensuite examinées au projecteur de profil. Une image de la pointe fixée sur la platine est projetée avec un grossissement 200 sur un carton blanc sur lequel est tracé un angle de 30° terminé au sommet par un arc de cercle de 1,0 mm de diamètre.

Ces dimensions correspondent à un diamètre de pointe de 5 µm, maximum autorisé. Les aiguilles qui ont une pointe aiguisée convenablement, l'angle au sommet correct et dont la surface est lisse et exempte de bavures sont acceptables. Tremper les pointes dans une huile lubrifiante fluide et les stocker, pointe en haut et sans les toucher, dans un dessiccateur en attendant leur utilisation.

Une autre façon de préparer les électrodes à partir d'aiguilles à coudre consiste à utiliser des machines à affûter les forets. Sur l'une des électrodes est meulé un hémisphère, sur l'autre une pointe.

Une autre approche est d'acheter les électrodes. Des électrodes constituées de tiges de 1 mm de diamètre, avec une pointe ayant un rayon de courbure de 3 µm à l'extrémité d'un cône d'angle au sommet de 30° sont commercialisées (voir 2.2.2). Des électrodes à bout rond faites avec les mêmes tiges de 1 mm de diamètre ont une extrémité hémisphérique avec un rayon de courbure de 0,5 mm.

Annex A (informative)

Preparation of needle electrodes

Use standard sewing needles called "No. 7 Sharps" which have a shank diameter of approximately 0,7 mm, length 37,5 mm, and a tip diameter of approximately 0,025 mm. Clip off the eye with diagonal cutters and insert the needle into the chuck of a lathe so that only approximately 5 mm protrude. It is easier and quicker to do this precision grinding with a watchmaker's lathe spindle and a precision steel collet in place of the standard chuck. Sharpen the point to a cone shape with an included angle of 30° by grinding against a rotating wheel mounted on a tool post grinder. The wheel shall be a very fine grained and very hard stone.

NOTE - Wheels 60 mm in diameter, 6 mm thick, and with a 6 mm diameter arbour hole can be obtained from Abrasives Distributors, 26 W. Passare St., Rochell Park, NJ 07662, USA.

Accomplish the grinding by rotating the needle and grinding wheel in opposite directions at rates of 3 500 and 10 000 rev/min, respectively. Wet the wheel with a few drops of kerosene before starting and observe the sharpening process continuously with a 10x stereo microscope positioned directly above the needle, illuminated by a small microscope spot lamp. When the needle point is sufficiently sharp, remove and temporarily store it, point up and untouched, until several others have been prepared. The group of needles may number up to 30, which is approximately the maximum number of needles that can be sharpened before the surface of the wheel must be redressed. Watch the sharpening carefully, because that is the best way to determine when the needle does not sharpen as expected and dressing is necessary. Sometimes this may be after only a few needles. Use a diamond tool mounted horizontally and at a 75° angle with respect to the axis of the lathe for dressing the wheel. Dressing is done dry.

After a group of needles has been prepared, examine each needle with a 100x microscope to be sure the points are smooth, conical, and sharp. Those which appear satisfactory should be examined further with a microprojector. Mounted on the stage, an image of the point is projected at 200x upon a white card that bears the outline of a 30° plane angle terminated at the apex by a circular arc 1,0 mm in diameter.

This dimension corresponds to a point diameter of 5 µm, the maximum permitted. Needles that have an appropriate sharp point, the proper angle, and are smooth and burr-free are acceptable. Dip the tips in light machine oil and store, points up and untouched, in a desiccator prior to future use.

As an alternative to preparing electrodes from sewing needles, drill blanks may be used. A hemisphere is ground on one electrode, a sharp point on the other.

An additional approach is to purchase electrodes. Electrodes made from steel rods 1 mm in diameter with a 3 µm-radius point at the end of a 30° included angle are available (see 2.2.2). Blunt electrodes made from the same 1 mm diameter rods have 0,5 mm radius ends.

Annexe B (normative)

Résultats et discussion des essais circulaires d'arborisation

Les dispositions d'aiguilles décrites dans les sections 2 et 3 ont fait l'objet d'essais circulaires dans du PE-LD. En outre, une résine époxyde a été testée avec le système d'électrodes de la méthode A. Le but de ces essais était d'évaluer la précision et la reproductibilité possibles avec ces systèmes d'électrodes et d'établir si l'un d'entre eux était préférable.

L'essai à une aiguille a été effectué selon la méthode A dans quatre laboratoires A, B, C, D. Utilisant le PE-LD (Lupolen 1812 DSK), des éprouvettes ont été munies d'aiguilles dans un même laboratoire (D), ainsi que dans chacun des laboratoires. Toutes les éprouvettes de résine époxyde ont été préparées dans le même laboratoire (D); il s'agissait de bisphénol A polymérisé avec l'anhydride de l'acide phthalique.

Un même type d'aiguille disponible commercialement, avec une pointe de rayon de courbure de 3 µm sur un cône d'angle au sommet de 30°, a été utilisé dans tous les essais. Dans trois des laboratoires, l'apparition des arborescences a été détectée par observation microscopique, et dans un laboratoire (B) par mesure des décharges partielles selon la méthode de 2.3.1c).

L'essai à deux aiguilles a été effectué dans quatre laboratoires B, C, D, E, avec le même PE-LD (Lupolen 1812 DSK). Le système d'électrodes était conforme à la méthode B. La méthode d'essai était, par contre, celle de la méthode A, c'est-à-dire une montée de tension par paliers de 1 min. Toutes les éprouvettes avaient été munies d'aiguilles dans le laboratoire C.

Les tableaux B1a, B1b et B2 sont intégrés dans ce rapport, de façon à permettre une appréciation du niveau de concordance facilement réalisable avec ce type d'essai.

Une analyse statistique des résultats montre clairement:

- que le système pointe-plan à une aiguille aussi bien que le système à deux aiguilles, l'une à bout pointu, l'autre à bout rond, donnent des résultats comparables avec une faible dispersion et de faibles coefficients de variation relatifs dans tous les laboratoires;
- que les résultats sont comparables, même lorsque les éprouvettes sont munies d'aiguilles dans des laboratoires différents (comme cela a été démontré pour l'essai à une aiguille);
- que les résultats du laboratoire B sont en excellent accord avec ceux des autres laboratoires. Cela signifie que l'apparition des arborescences peut être détectée de façon satisfaisante soit par microscopie soit directement par voie électrique;
- que dans le PE-LD, la tension moyenne d'apparition des arborescences dans le système à deux aiguilles est, de façon reproductible, supérieure de 3 kV à celle du système à une aiguille, dans des conditions identiques d'application de la tension par paliers consécutifs de 1 kV/min (voir tableaux B1a et B2).

Dans ces deux essais, on a comparé deux systèmes d'électrodes différents dans les mêmes conditions d'essai. Etant donné que les méthodes A et B prescrivent en fait des conditions d'essai différentes (voir l'introduction), les essais circulaires effectués ne peuvent donc pas être considérés comme une comparaison directe des deux méthodes.

Annex B (informative)

Results and discussion of round robin treeing tests

The needle arrangements described in sections 2 and 3 were subjected to round robin tests using PE-LD. Furthermore an epoxy resin was evaluated using the electrode arrangement of method A. The aim of these tests was to assess the precision and reproducibility attainable with these electrode arrangements and to find out if one of them is to be favoured.

The single-needle test was carried out according to method A in four laboratories A, B, C, D. Using PE-LD (Lupolen 1812 DSK), the specimens were needed in one laboratory (D) as well as in each test laboratory. All epoxy resin specimens were prepared in one laboratory (D) using a bisphenol-A-type resin cured with phthalic acid anhydride.

The same type of commercial needles with a tip radius of about 3 µm and an included angle of 30° was used as electrodes for all the tests. In three laboratories tree inception was detected by microscopical observation, in one laboratory (B) by partial discharge measurement according to 2.3.1 c).

The double-needle test was performed in four laboratories B, C, D, E with the same PE-LD (Lupolen 1812 DSK). The electrode arrangement was in accordance with method B. The test procedure, however, was identical to that in method A, i.e. using consecutive voltage steps of 1 min duration. All the specimens were needed in laboratory E.

Tables B1a, B1b and B2 are included in this report, so as to permit a judgement of the type of agreement which appears to be easily attainable with this sort of test.

Statistical evaluation of the data clearly demonstrates:

- that the single-needle point-to-plane arrangement as well as the double-needle arrangement with one sharp and one blunt electrode give comparable results with small scatter and relative low variation coefficients in all laboratories;
- that the results are comparable even though the specimens are needed in different laboratories (as demonstrated with the single-needle test);
- that the results of laboratory B are in excellent agreement with the other results. This means that tree inception can be detected satisfactorily by either microscopical or direct electrical indication;
- regarding PE-LD, the mean tree inception voltage is reproducibly about 3 kV higher in the double-needle than in the single-needle arrangement under identical conditions of voltage application with consecutive 1 kV/min steps (see tables B1a and B2).

These two tests compared two different electrode arrangements under identical testing conditions. Since Method A and Method B do, however, specify different testing conditions (see Introduction), the round robin tests performed can consequently not be considered as a direct comparison of the two methods.

A titre de comparaison, le PE-LD essayé ci-dessus a aussi été soumis à l'essai selon la méthode B dans un laboratoire (E). La valeur de la tension caractéristique à deux aiguilles VCDA était dans ce cas de 11,5 kV.

Enfin, le système à une aiguille a été utilisé pour estimer l'aptitude des systèmes d'essai décrits à mesurer le temps d'apparition des arborescences sous contrainte électrique de longue durée. Les résultats ne permettent pas une discussion significative et détaillée; cependant, ils présentent les caractéristiques suivantes:

- il existe une très grande dispersion entre différents laboratoires et même entre différents essais d'un même laboratoire supposés effectués dans les mêmes conditions;
- les séquences d'application et de coupure de la tension constituent un facteur expérimental prépondérant;
- le moment de la formation des arborescences est assez subjectif. Cela est particulièrement vrai en cas de détection visuelle.

For comparison purposes the PE-LD investigated above was also tested by method B in one laboratory (E). A value of the double-needle characteristic voltage DNCV of 11,5 kV was found in this case.

Finally, the single-needle arrangement was used to assess the suitability of the test arrangements described for measuring tree inception times during prolonged voltage stressing. The data do not allow a meaningful detailed discussion; they can, however, be characterized as follows:

- there exists an extremely large scatter between different laboratories and even between different runs in one laboratory under supposed identical conditions;
- details of stress application and resting times are a major experimental factor;
- the moment of tree initiation is somewhat subjective. This is particularly true when visual detection is employed.

Tableau B1a - Tension d'apparition des arborescences dans l'essai à une aiguille dans le PE-LD; résultats d'essai et analyse statistique
(Conditions de contrainte: paliers consécutifs de 1 kV/min, voir méthode A dans la section 2)

Laboratory	A n.D	B n.D	n.t	C n.D	n.t	D n.t	
Tension	Arborescences détectées						Total
8 kV	1			1	1		1
9	1			1	1		9
10	7			6	2	1	18
11	10	3	1	10	10	1	35
12	6	8	6	7	7	4	38
13	2	7	9	1	6	5	29
14	1	6	7	2	1	6	23
15	0	3	5	0	1	5	15
16	2	1	2	1	2	2	10
17		2				1	3
18						4	4
n	30	30	30	30	29	30	179
Loi normale							
\bar{x} kV	11,4	13,2	13,5	11,9	12,0	14,2	12,6
\bar{x}_1 kV	10,7	12,7	13,0	10,8	11,4	13,5	12,3
\bar{x}_u kV	12,0	13,9	14,0	11,9	12,7	15,1	12,9
s kV	1,75	1,62	1,28	1,47	1,66	2,12	2,00
V %	15,4	12,2	9,5	13,0	13,9	14,8	15,8
Loi log-normale							
\bar{x}_G kV	11,2	13,2	13,4	11,2	11,9	14,1	12,5
\bar{x}_{G1} kV	10,2	12,6	13,0	10,7	11,4	13,4	12,2
\bar{x}_{G_u} kV	11,9	13,8	13,9	11,8	12,5	15,0	12,8
s kV	1,16	1,19	1,10	1,19	1,14	1,15	1,17
V %	6,1	4,6	3,6	5,1	5,4	5,6	6,2
Loi de Weibull							
E_0 kV	12,1	14,0	14,1	12,0	12,8	15,2	13,5
b	7,5	8,8	12,0	8,7	8,3	7,8	7,7
n.D = muni d'aiguilles dans le laboratoire D n.t = muni d'aiguilles dans le laboratoire effectuant les essais							

Table B1a - Tree inception voltage in the single-needle treeing test with PE-LD; test results and statistical evaluation (Stressing conditions: Consecutive 1 kV/min steps, see method A in section 2)

Laboratory	A n.D	B n.D n.t		C n.D n.t		D n.t	
Voltage	Detected trees						Total
8 kV	1						1
9	1				1	1	3
10	7				8	2	18
11	10	3	1	10	10	1	35
12	6	9	9	7	7	4	38
13	2	7	9	1	6	6	29
14	1	6	7	2	1	6	23
15	0	3	5	0	1	6	15
16	2	1	2	1	2	2	10
17		2				1	3
18						4	4
<i>n</i>	30	30	30	30	29	30	179
Gaussian/ normal							
\bar{x} kV	11,4	13,3	13,5	11,3	12,0	14,3	12,6
\bar{x}_1 kV	10,7	12,7	13,0	10,8	11,4	13,5	12,3
\bar{x}_0 kV	12,0	13,9	14,0	11,9	12,7	15,1	12,9
<i>s</i> kV	1,76	1,82	1,28	1,47	1,86	2,12	2,00
<i>V</i> %	15,4	12,2	9,5	13,0	13,8	14,8	15,8
Gaussian/ log.							
\bar{x}_0 kV	11,2	13,2	13,4	11,2	11,8	14,1	12,5
\bar{x}_{G2} kV	10,2	12,6	13,0	10,7	11,4	13,4	12,2
$\bar{x}_{G\mu}$ kV	11,9	13,8	13,9	11,8	12,5	15,0	12,6
<i>s</i> kV	1,16	1,13	1,10	1,13	1,14	1,16	1,17
<i>V</i> %	8,1	4,8	3,8	5,1	5,4	5,6	6,2
Weibull							
E_0 kV	12,1	14,0	14,1	12,0	12,8	15,2	13,5
<i>b</i>	7,5	9,3	12,0	6,7	6,3	7,8	7,7
n.D = needed in laboratory D n.t = needed in the test laboratory							

Tableau B1b - Tension d'apparition des arborescences dans l'essai à une aiguille dans la résine époxyde; résultats d'essai et analyse statistique
(Conditions de contrainte: paliers consécutifs de 1 kV/min, voir méthode A dans la section 2)

Laboratoire	A	B	C	D	
Tension	Arborescences détectées				Total
11 kV	3	-	-	-	3
12	5	-	-	-	5
13	3	-	-	-	3
14	4	-	-	-	4
15	2	-	3	-	5
16	1	-	5	1	7
17	0	3	2	2	7
18	0	3	3	3	9
19	0	1	3	1	5
20	1	4	0	3	8
21	1	4	1	1	7
22	0	0	1	1	2
23	1	2	1	1	5
24	0	1	0	0	1
25	0	0	0	4	4
26	0	1	0	2	3
27	0	0	0	0	0
28	0	1	0	4	5
29	0	1	1	0	2
30	1	1	1	1	4
31	0	0	2	2	4
32	1	1	0	0	2
33	1	0	0	1	2
34	0	1	1	3	5
35	2	0	3	-	5
36	2	0	2	-	4
37	0	1	1	-	2
38	0	1	-	-	1
39	1	1	-	-	2
40	-	1	-	-	1
41	-	1	-	-	1
n	29	29	30	30	118
Loi normale					
\bar{x} kV	19,8	25,2	23,5	24,7	23,3
\bar{x}_l kV	16,1	22,3	20,5	22,5	21,6
\bar{x}_u kV	23,5	29,2	26,5	26,8	24,8
s kV	9,75	7,89	8,16	6,88	8,15
V %	49,9	31,0	34,7	28,0	35,0
Loi log-normale					
\bar{x}_0 kV	17,3	24,2	22,2	24,0	21,9
$\bar{x}_{0,5}$ kV	15,1	21,7	19,6	22,0	20,6
$\bar{x}_{0,9}$ kV	21,1	27,0	25,2	26,2	23,4
s kV	1,57	1,34	1,40	1,26	1,49
V %	15,7	8,1	10,8	7,4	11,5
Loi de Weibull					
E_0 kV	22,8	28,1	26,5	26,9	25,7
b	2,9	3,7	3,2	4,9	3,4

**Table B1b - Tree inception voltage in the single-needle treeing test with epoxy resin:
test results and statistical evaluation**
(Stressing conditions: consecutive 1 kV/min steps,
see method A in section 2)

Laboratory	A	B	C	D	
Voltage	Detected trees				Total
11 kV	3	-	-	-	3
12	5				5
13	3				3
14	4				4
15	2		3		5
16	1		5	1	7
17	0	3	2	2	7
18	0	3	3	3	9
19	0	1	3	1	5
20	1	4	0	3	8
21	1	4	1	1	7
22	0	0	1	1	2
23	1	2	1	1	5
24	0	1	0	0	1
25	0	0	0	4	4
26	0	1	0	2	3
27	0	0	0	0	0
28	0	1	0	4	5
29	0	1	1	0	2
30	1	1	1	1	4
31	0	0	2	2	4
32	1	1	0	0	2
33	1	0	0	1	2
34	0	1	1	3	5
35	2	0	3		5
36	2	0	2		4
37	0	1	1		2
38	0	1			1
39	1	1			2
40		1			1
41		1			1
<i>n</i>	29	29	30	30	118
Gaussian/normal					
\bar{x} kV	19,8	25,2	23,5	24,7	23,3
\bar{x}_l kV	16,1	22,2	20,5	22,5	21,8
\bar{x}_u kV	23,5	28,2	26,5	26,8	24,8
<i>s</i> kV	9,75	7,69	8,16	5,68	8,15
<i>V</i> %	49,3	31,0	34,7	23,0	35,0
Gaussian/log					
\bar{x}_0 kV	17,8	24,2	22,2	24,0	21,8
$\bar{x}_{0,1}$ kV	15,1	21,7	19,6	22,0	20,6
$\bar{x}_{0,10}$ kV	21,1	27,0	25,2	25,2	23,4
<i>s</i> kV	1,57	1,34	1,40	1,26	1,43
<i>V</i> %	15,7	9,1	10,8	7,4	11,5
Weibull					
E_0 kV	22,8	28,1	20,5	26,9	25,7
<i>b</i>	2,3	3,7	3,2	4,9	3,4

Tableau B2 - Tension d'apparition des arborescences dans l'essai à deux aiguilles
dans le PE-LD: résultats d'essai et analyse statistique
(Conditions de contrainte: paliers consécutifs de 1 kV/min,
voir méthode A dans la section 2)

Laboratoire	E			B	C	D		Total
	I	II	III	-	-	I	II	
Tension	Arborescences détectées							Total
11 kV					1	1		2
12					0	1	1	2
13				3	3	2	1	9
14	1		1	4	3	4	4	17
15	1	1	0	2	5	2	5	16
16	4	4	3	6	7	7	4	35
17	1	4	1	2	4	3	4	19
18	1	1	3	1	4		1	11
19	1		0	1	2			4
20	0		1	1	1			3
21	1		1					2
<i>n</i>	10	10	10	20	30	20	20	120
Loi normale								
\bar{x} kV	16,8	16,5	17,4	15,8	15,9	14,9	16,3	15,9
\bar{x}_I kV	15,8	16,9	15,9	14,7	15,1	14,1	14,6	15,6
\bar{x}_U kV	16,3	17,1	18,9	16,5	16,7	15,7	16,0	16,2
<i>s</i> kV	2,04	0,85	2,07	1,96	2,06	1,71	1,53	1,92
<i>V</i> %	12,2	6,2	11,9	12,6	12,9	11,5	10,0	12,2
Loi log-normale								
\bar{x} kV	16,7	16,5	17,3	15,5	15,8	14,8	16,2	15,7
\bar{x}_{GJ} kV	16,3	16,8	15,9	14,8	15,0	14,0	14,5	15,4
$\bar{x}_{T_{0,5}}$ kV	16,2	17,1	18,8	16,4	16,6	15,7	16,0	16,1
<i>s</i> kV	1,13	1,06	1,13	1,13	1,14	1,13	1,11	1,18
<i>V</i> %	4,2	1,8	4,2	4,5	4,8	4,5	3,7	4,5
Loi de Weibull								
E_0 kV	17,7	16,9	18,8	16,5	16,8	15,7	16,0	16,7
<i>b</i>	8,8	20,2	9,0	8,9	8,8	9,6	11,3	8,9

Table B2 - Tree inception voltage in the double-needle treeing test with PE-LD:
test results and statistical evaluation
(Stressing conditions: consecutive 1 kV/min steps,
see method A in section 2)

Laboratory	E			B	C	D		Total
	I	II	III	-	-	I	II	
Voltage	Detected trees							Total
11 kV					1	1		2
12					0	1	1	2
13				3	3	2	1	9
14	1		1	4	3	4	4	17
15	1	1	0	2	5	2	5	16
16	4	4	3	6	7	7	4	35
17	1	4	1	2	4	3	4	19
18	1	1	3	1	4		1	11
19	1		0	1	2			4
20	0		1	1	1			3
21	1		1					2
<i>n</i>	10	10	10	20	30	20	20	120
Gaussian/ normal								
\bar{x} kV	16,0	16,5	17,4	15,9	15,9	14,9	15,3	15,8
\bar{x}_I kV	15,3	15,9	15,9	14,7	15,1	14,1	14,6	15,5
\bar{x}_D kV	18,3	17,1	18,9	16,5	16,7	15,7	15,0	16,2
<i>s</i> kV	2,04	0,85	2,07	1,96	2,06	1,71	1,53	1,82
<i>V</i> %	12,2	5,2	11,9	12,6	12,9	11,5	10,0	12,2
Gaussian- log								
\bar{x} kV	16,7	16,5	17,3	15,5	15,8	14,8	15,2	15,7
\bar{x}_{G2} kV	15,3	15,9	15,9	14,9	15,0	14,0	14,5	15,4
\bar{x}_{G3} kV	18,2	17,1	18,8	16,4	16,6	15,7	15,0	16,1
<i>s</i> kV	1,13	1,05	1,13	1,13	1,14	1,13	1,11	1,18
<i>V</i> %	4,2	1,9	4,2	4,5	4,8	4,5	3,7	4,5
Weibull								
E_0 kV	17,7	16,9	18,9	16,5	16,8	15,7	16,0	16,7
<i>b</i>	8,8	20,2	9,0	8,9	8,8	9,5	11,8	9,6

**Publications de la CEI préparées
par le Comité d'Etudes n° 15**

- 85 (1984) Evaluation et classification thermique de l'isolation électrique.
- 93 (1980) Méthodes pour la mesure de la résistivité universelle et de la résistivité superficielle des matériaux isolants électriques solides.
- 112 (1979) Méthode pour déterminer les indices de résistance et de tenue au cisaillement des matériaux isolants solides dans des conditions humides.
- 167 (1964) Méthodes d'essai pour la détermination de la résistance d'isolement des isolants solides.
- 212 (1971) Conditions normales à observer avant et pendant les essais de matériaux isolants électriques solides.
- 216 - Guide pour la détermination des propriétés d'endurance thermique de matériaux isolants électriques.
- 216-1 (1990) Première partie: Guide général relatif aux méthodes de vieillissements et à l'évaluation des résultats d'essai.
- 216-2 (1990) Deuxième partie: Choix de critères d'essai.
- 216-3-1 (1990) Troisième partie: Instructions pour le calcul des caractéristiques d'endurance thermique. Section 1 - Calculs basés sur les valeurs moyennes des résultats complets normalement distribués.
- 216-3-3 (1991) Troisième partie: Instructions pour le calcul des caractéristiques d'endurance thermique. Section 3: Calculs applicables aux résultats incomplets: résultats des essais d'épreuves de durée inférieure ou égale au temps médian pour atteindre le point limite (groupes d'essais groupés).
- 216-4-1 (1990) Quatrième partie: Essais de vieillissement - Section 1: Essais à une seule chambre.
- 216-5 (1990) Cinquième partie: Guide pour l'utilisation des caractéristiques d'endurance thermique.
- 243 - Méthodes d'essai pour la détermination de la rigidité diélectrique des matériaux isolants solides.
- 243-1 (1988) Première partie: Méthodes aux fréquences industrielles.
- 243-2 (1990) Deuxième partie: Prescriptions complémentaires pour la mesure à tension continue.
- 250 (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).
- 290 (1969) Evaluation de l'endurance thermique des vernis isolants électriques par la méthode de la bobine hélicoïdale.
- 343 (1991) Méthodes d'essai recommandées pour la détermination de la résistance relative des matériaux isolants au claquage par les décharges superficielles.
- 345 (1971) Méthode d'essai pour la résistance d'isolement et la résistivité moyenne des matériaux isolants à des températures élevées.
- 370 (1971) Méthode d'essai pour l'évaluation de la stabilité thermique des vernis isolants par l'abaissement de la rigidité diélectrique.
- 371 - Spécification pour les matériaux isolants à base de mica.
- 371-1 (1980) Première partie: Définitions et prescriptions générales.
- 371-2 (1987) Deuxième partie: Méthodes d'essai.
- 371-3 - Troisième partie: Spécifications pour matériaux particuliers.
- 371-3-1 (1984) Feuille 1: Matériaux pour entretoises de collecteurs.
- 371-3-2 (1991) Spécification pour les matériaux isolants à base de mica. Troisième partie: Spécifications pour matériaux particuliers. Feuille 2: Papier de mica.
- 371-3-3 (1983) Feuille 3: Matériaux rigides à base de mica pour appareils de chauffage.
- 377 - Méthodes pour la détermination des propriétés diélectriques de matériaux isolants aux fréquences supérieures à 300 MHz.
- 377-1 (1973) Première partie: Généralités.
- 377-2 (1977) Deuxième partie: Méthodes de résonance.
- 394 - Tissus vernis à usages électriques.
- 394-1 (1972) Première partie: Définitions et conditions générales.
- 394-2 (1972) Deuxième partie: Méthodes d'essai.
- 394-3 - Troisième partie: Spécifications pour matériaux individuels.
- 394-3-1 (1976) Feuille 1: Vernis oléarésineux - support coton QRAC.
- 394-3-2 (1988) Feuille 2: Tissus à base de tissu de verre avec vernis époxyde, au polyuréthane, aux silicones, aux polyesters, bitumineux ou oléarésineux.
- 426 (1973) Méthodes d'essai pour la détermination de la corrosion électrolytique en présence de matériaux isolants.

(suite)

**IEC publications prepared
by Technical Committee No. 15**

- 85 (1984) Thermal evaluation and classification of electrical insulation.
- 93 (1980) Methods of test for volume resistivity and surface resistivity of solid electrical insulating materials.
- 112 (1979) Method for determining the comparative and the proof tracking indices of solid insulating materials under moist conditions.
- 167 (1964) Methods of test for the determination of the insulation resistance of solid insulating materials.
- 212 (1971) Standard conditions for use prior to and during the testing of solid electrical insulating materials.
- 216 - Guide for the determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials.
- 216-1 (1990) Part 1: General guidelines for ageing procedures and evaluation of test results.
- 216-2 (1990) Part 2: Choice of test criteria.
- 216-3-1 (1990) Part 3: Instructions for calculating thermal endurance characteristics. Section 1 - Calculations using mean values of normally distributed complete data.
- 216-3-3 (1991) Part 3: Instructions for calculating thermal endurance characteristics. Section 3: Calculations for incomplete data: proof test results up to and including the median time to endpoint (equal test groups).
- 216-4-1 (1990) Part 4: Ageing ovens. Section 1: Single-chamber ovens.
- 216-5 (1990) Part 5: Guidelines for the application of thermal endurance characteristics.
- 243 - Methods of test for electric strength of solid insulating materials.
- 243-1 (1988) Part 1: Tests at power frequencies.
- 243-2 (1990) Part 2: Additional requirements for tests using direct voltage.
- 250 (1969) Recommended methods for the determination of the permittivity and dielectric dissipation factor of electrical insulating materials at power, audio and radio frequencies including wave lengths.
- 290 (1969) Evaluation of the thermal endurance of electrical insulating materials by the helical coil bond test.
- 343 (1991) Recommended test methods for determining the relative resistance of insulating materials to breakdown by surface discharge.
- 345 (1971) Method of test for electrical resistance and resistivity of insulating materials at elevated temperatures.
- 370 (1971) Test procedure for thermal endurance of insulating materials - Electric strength method.
- 371 - Specification for insulating materials based on mica.
- 371-1 (1980) Part 1: Definitions and general requirements.
- 371-2 (1987) Part 2: Methods of test.
- 371-3 - Part 3: Specifications for individual materials.
- 371-3-1 (1984) Sheet 1: Commutator separators and materials.
- 371-3-2 (1991) Specification for insulating materials based on mica. Part 3: Specifications for individual materials. Sheet 2: Mica paper.
- 371-3-3 (1983) Sheet 3: Specification for rigid mica materials for heating equipment.
- 377 - Methods for the determination of the dielectric properties of insulating materials at frequencies above 300 MHz.
- 377-1 (1973) Part 1: General.
- 377-2 (1977) Part 2: Resonance methods.
- 394 - Varnished fabrics for electrical purposes.
- 394-1 (1972) Part 1: Definitions and general requirements.
- 394-2 (1972) Part 2: Methods of test.
- 394-3 - Part 3: Specifications for individual materials.
- 394-3-1 (1976) Sheet 1: Oleoresinous varnish-cotton base, QRAC.
- 394-3-2 (1988) Sheet 2: Glass-fabric based varnished fabrics with epoxy, polyurethane, silicones, polyester, bituminous or oleoresinous varnish.
- 426 (1973) Test methods for determining electrolytic corrosion with insulating materials.

(continued)

**Publications de la CEI préparées
par le Comité d'Etudes n° 15 (suite)**

- 450 (1974) Mesure du degré de polymérisation moyen viscosimétrique de papiers neufs et vieillis à usage électrique.
- 454: - Spécifications pour rubans adhésifs sensibles à la pression à usage électrique.
- 454-1 (1974) Première partie: Conditions générales.
- 454-2 (1974) Deuxième partie: Méthodes d'essai.
- 454-2A (1978) Premier complément.
- 454-3: - Troisième partie: Spécifications pour les matériaux particuliers.
- 454-3-1 (1976) Feuille 1: Conditions applicables aux rubans de polyvinyle plastifié avec adhésif non thermodurcissable.
- 454-3-2 (1981) Feuille 2: Conditions applicables aux rubans de polyester (PETP) avec adhésif thermodurcissable.
- 454-3-3 (1981) Feuille 3: Conditions applicables aux rubans de polyester (PETP) avec adhésif non thermodurcissable.
- 454-3-4 (1978) Feuille 4: Conditions applicables au papier cellulosique endé avec adhésif thermodurcissable.
- 454-3-5 (1980) Feuille 5: Prescriptions applicables au papier cellulosique avec adhésif thermodurcissable.
- 454-3-6 (1984) Feuille 6: Prescriptions applicables aux rubans de poly-carbonate avec adhésif non thermodurcissable.
- 454-3-7 (1984) Feuille 7: Prescriptions applicables aux rubans de polymide avec adhésif thermodurcissable.
- 454-3-8 (1984) Feuille 8: Prescriptions applicables aux rubans en tissu de verre avec adhésif thermodurcissable.
- 455: - Spécification relative aux composés résineux polymérisables sous solvant utilisés comme isolants électriques.
- 455-1 (1974) Première partie: Définitions et conditions générales.
- 455-1A (1980) Premier complément: Principe de classification des composés résineux polymérisables.
- 455-2 (1977) Deuxième partie: Méthodes d'essai. Modification n° 1 (1982).
- 455-2-2 (1984) Deuxième partie: Méthodes d'essai. Méthodes d'essai des poudres de revêtement à usage électrique.
- 455-3: - Troisième partie: Spécifications pour les matériaux particuliers.
- 455-3-1 (1981) Feuille 1: Composés résineux époxydes sans charge.
- 455-3-2 (1987) Feuille 2: Composés résineux époxydes chargés de silice.
- 455-3-3 (1984) Feuille 3: Composés résineux de polyuréthane non chargés.
- 455-3-4 (1984) Feuille 4: Composés résineux de polyuréthane chargés.
- 455-3-5 (1989) Feuille 5: Résines d'imprégnation en polyester bismarck.
- 455-3-11 (1988) Feuille 11: Poudres de revêtement à base de résines époxyde.
- 464: - Spécification relative aux vernis isolants contenant un solvant.
- 464-1 (1976) Première partie: Définitions et conditions générales.
- 464-2 (1974) Deuxième partie: Méthodes d'essai.
- 464-3: - Troisième partie: Spécifications pour les matériaux particuliers.
- 464-3-1 (1986) Feuille 1: Prescriptions pour vernis de finition polymérisant à froid.
- 464-3-2 (1989) Feuille 2: Prescriptions pour vernis d'imprégnation polymérisant à chaud.
- 493: - Guide pour l'analyse statistique de données d'essais de vieillissement.
- 493-1 (1974) Première partie: Méthodes basées sur les valeurs moyennes de résultats d'essais normalement distribués.
- 544: - Guide pour la détermination des effets des rayonnements ionisants sur les matériaux isolants.
- 544-1 (1977) Première partie: Introduction des rayonnements.
- 544-2 (1991) Deuxième partie: Méthodes d'irradiation et d'essais.
- 544-3 (1979) Troisième partie: Méthodes d'essais pour la détermination des effets permanents.
- 544-4 (1985) Quatrième partie: Système de classification pour le service en radiation environnement.
- 554: - Spécification pour papiers cellulosiques à usage électrique.
- 554-1 (1977) Première partie: Définitions et conditions générales. Modification n° 1 (1983).
- 554-2 (1977) Deuxième partie: Méthodes d'essai. Modification n° 1 (1982). Modification n° 2 (1984).
- 554-3: - Troisième partie: Spécifications pour matériaux particuliers.
- 554-3-1 (1979) Feuille 1: Papier pour usage électrique général.

(suite)

**IEC publications prepared
by Technical Committee No. 15 (continued)**

- 450 (1974) Measurement of the average viscosimetric degree of polymerization of new and aged electrical papers.
- 454: - Specifications for pressure-sensitive adhesive tapes for electrical purposes.
- 454-1 (1974) Part 1: General requirements.
- 454-2 (1974) Part 2: Methods of test.
- 454-2A (1978) First supplement.
- 454-3: - Part 3: Specifications for individual materials.
- 454-3-1 (1976) Sheet 1: Requirements for plasticized polyvinyl chloride with non-thermosetting adhesive.
- 454-3-2 (1981) Sheet 2: Requirements for polyester film tapes (PETP) with thermosetting adhesive.
- 454-3-3 (1981) Sheet 3: Requirements for polyester film tapes (PETP) with non-thermosetting adhesive.
- 454-3-4 (1978) Sheet 4: Requirements for cellulosic paper, coated, with thermosetting adhesive.
- 454-3-5 (1980) Sheet 5: Requirements for cellulosic paper with thermosetting adhesive.
- 454-3-6 (1984) Sheet 6: Requirements for polycarbonate film tapes with non-thermosetting adhesive.
- 454-3-7 (1984) Sheet 7: Requirements for polyimide film tapes with thermosetting adhesive.
- 454-3-8 (1984) Sheet 8: Requirements for glass fabric tapes with thermosetting adhesive.
- 455: - Specification for solventless polymerizable resinous compounds used for electrical insulation.
- 455-1 (1974) Part 1: Definitions and general requirements.
- 455-1A (1980) First supplement: Basis for classification of polymerizable resinous compounds.
- 455-2 (1977) Part 2: Methods of test. Amendment No. 1 (1982).
- 455-2-2 (1984) Part 2: Methods of test. Test methods for coating powders for electrical purposes.
- 455-3: - Part 3: Specifications for individual materials.
- 455-3-1 (1981) Sheet 1: Unfilled epoxy resinous compounds.
- 455-3-2 (1987) Sheet 2: Quartz filled epoxy resinous compounds.
- 455-3-3 (1984) Sheet 3: Unfilled polyurethane compounds.
- 455-3-4 (1984) Sheet 4: Filled polyurethane compounds.
- 455-3-5 (1989) Sheet 5: Unstarred polyester impregnating resins.
- 455-3-11 (1988) Sheet 11: Epoxy resin-based coating powders.
- 464: - Specification for insulating varnishes containing solvent.
- 464-1 (1976) Part 1: Definitions and general requirements.
- 464-2 (1974) Part 2: Test methods.
- 464-3: - Part 3: Specifications for individual materials.
- 464-3-1 (1986) Sheet 1: Requirements for cold curing finishing varnishes.
- 464-3-2 (1989) Sheet 2: Requirements for hot curing impregnating varnishes.
- 493: - Guide for the statistical analysis of ageing test data.
- 493-1 (1974) Part 1: Methods based on mean values of normally distributed test results.
- 544: - Guide for determining the effects of ionizing radiation on insulating materials.
- 544-1 (1977) Part 1: Radiation introduction.
- 544-2 (1991) Part 2: Procedures for irradiation and test.
- 544-3 (1979) Part 3: Test procedures for permanent effects.
- 544-4 (1985) Part 4: Classification system for service in radiation environment.
- 554: - Specification for cellulosic papers for electrical purposes.
- 554-1 (1977) Part 1: Definitions and general requirements. Amendment No. 1 (1983).
- 554-2 (1977) Part 2: Methods of test. Amendment No. 1 (1982). Amendment No. 2 (1984).
- 554-3: - Part 3: Specifications for individual materials.
- 554-3-1 (1979) Sheet 1: General purpose electrical paper.

(continued)

**Publications de la CEI préparées
par le Comité d'Etudes n° 15 (suite)**

- 554-3-2 (1983) Feuille 2: Papier pour condensateurs.
554-3-3 (1980) Feuille 3: Papier crépé.
554-3-4 (1979) Feuille 4: Papier électrolytique pour condensateurs.
554-3-5 (1984) Feuille 5: Papiers spéciaux.
- 587 (1984) Méthodes d'essai pour évaluer la résistance au cheminement et à l'érosion des matériaux isolants électriques utilisés dans des conditions ambiantes sévères.
589 (1977) Méthodes d'essai pour la détermination des impuretés ioniques dans les matériaux isolants électriques par extraction par des liquides.
- 626 - Spécification pour matériaux combinés souples destinés à l'isolation électrique
626-1 (1979) Première partie: Définitions et prescriptions générales.
626-2 (1978) Deuxième partie: Méthodes d'essai.
626-3 (1988) Troisième partie: Spécifications particulières aux matériaux individuels.
- 641 - Spécifications pour le carton comprimé et le papier comprimé à usage électrique
641-1 (1979) Première partie: Définitions et prescriptions générales.
641-2 (1979) Deuxième partie: Méthodes d'essai.
648 (1979) Méthode d'essai des coefficients de frottement des films et feuilles de matières plastiques utilisés comme isolants électriques.
- 667 - Spécification pour les fibres vulcanisables à usage électrique.
667-1 (1980) Première partie: Définitions et prescriptions générales.
667-2 (1982) Deuxième partie: Méthodes d'essai.
Modification n° 1 (1986).
- 667-3 - Troisième partie: Spécifications pour matériaux individuels.
667-3-1 (1986) Feuille 1: Feuilles planes.
- 672 - Spécification pour matériaux isolants à base de céramique ou de verre.
672-1 (1980) Première partie: Définitions et classification.
672-2 (1990) Deuxième partie: Méthodes d'essai.
672-3 (1984) Troisième partie: Matériaux particuliers.
- 674 - Spécification pour les films en matière plastique à usage électrique.
674-1 (1980) Première partie: Définitions et prescriptions générales.
674-2 (1988) Deuxième partie: Méthodes d'essai.
- 684 - Spécification pour gaines isolantes souples.
684-1 (1980) Première partie: Définitions et prescriptions générales.
684-2 (1984) Deuxième partie: Méthodes d'essai.
Annexe n° 1 (1991).
- 684-3 - Troisième partie: Spécifications particulières aux types particuliers de gaines.
684-3-100/105 (1988) Feuilles 100 à 105: Gaines en PVC extrudé.
684-3-116 à 118 (1991) Spécification pour gaines isolantes souples à usage électrique - Troisième partie: Spécifications pour types particuliers de gaines - Feuilles 116 à 118: Polychloroprène extrudé, utilisation générale.
684-3-121 et 122 (1988) Feuilles 121 et 122: Gaines en silicone extrudé.
684-3-201 (1991) Feuille 201: Gaine souple thermorétractable en PVC réticulé, pour usage général, avec rapport de rétrécissement de 2 à 1.
684-3-209 (1987) Feuille 209: Gaines thermorétractables tous usages, en polyoléfine flexible, à flamme retardée, rapport de rétrécissement 2:1.
684-3-240 à 243 (1991) Spécifications pour gaines isolantes souples - Troisième partie: Spécifications particulières aux types particuliers de gaines - Feuilles 240 à 243: Gaine thermorétractable, polytétrafluoroéthylène.
684-3-300 (1987) Feuille 300: Gaines en fibre de verre tissée, gainées, nues.
684-3-320 (1987) Feuille 320: Téréphtalate de polyéthylène tissé, légèrement imprégné.
684-3-343 à 345 (1991) Feuilles 343 à 345: Gaines expansibles tissées en éthylène chlorotétrafluoroéthylène (E-CTFE), tissées, non revêtues.
684-3-400 à 402 (1991) Spécification pour gaines isolantes souples à usage électrique - Troisième partie: Spécifications pour types particuliers de gaines - Feuilles 400 à 402: Gaines en fibres de verre tissées avec revêtement en chlorure de silicium.
684-3-403/405 (1988) Feuilles 403 à 405: Gaines en fibres de verre tissées, avec revêtement acrylique.

(suite)

**IEC publications prepared
by Technical Committee No. 15 (continued)**

- 554-3-2 (1983) Sheet 2: Capacitor paper.
554-3-3 (1980) Sheet 3: Crepe paper.
554-3-4 (1979) Sheet 4: Electrolytic capacitor paper.
554-3-5 (1984) Sheet 5: Special papers.
- 587 (1984) Test methods for evaluating resistance to tracking and erosion of electrical insulating materials used under severe ambient conditions.
589 (1977) Methods of test for the determination of ionic impurities in electrical insulating materials by extraction with liquids.
- 626 - Specification for combined flexible materials for electrical insulation.
626-1 (1979) Part 1: Definitions and general requirements.
626-2 (1978) Part 2: Methods of test.
626-3 (1988) Part 3: Specifications for individual materials.
- 641 - Specification for pressboard and prepaper for electrical purposes.
641-1 (1979) Part 1: Definitions and general requirements.
641-2 (1979) Part 2: Methods of test.
648 (1979) Method of test for coefficients of friction of plastic film and sheeting for use as electrical insulation.
- 667 - Specification for vulcanized film for electrical purposes.
667-1 (1980) Part 1: Definitions and general requirements.
667-2 (1982) Part 2: Methods of test.
Amendment No. 1 (1986).
- 667-3 - Part 3: Specifications for individual materials.
667-3-1 (1986) Sheet 1: Flat sheets.
- 672 - Specification for ceramic and glass insulating materials.
672-1 (1980) Part 1: Definitions and classification.
672-2 (1990) Part 2: Methods of test.
672-3 (1984) Part 3: Individual materials.
- 674 - Specification for plastic films for electrical purposes.
674-1 (1980) Part 1: Definitions and general requirements.
674-2 (1988) Part 2: Methods of test.
- 684 - Specification for flexible insulating sleeving.
684-1 (1980) Part 1: Definitions and general requirements.
684-2 (1984) Part 2: Methods of test.
Amendment No. 1 (1991).
- 684-3 - Part 3: Specification requirements for individual types of sleeving.
684-3-100/105 (1988) Sheets 100 to 105: Extruded PVC sleeving.
684-3-116 to 118 (1991) Specification for flexible insulating sleeving for electrical purposes - Part 3: Specification requirements for individual types of sleeving - Sheets 116 to 118: Extruded polychloroprene, general purpose.
684-3-121 and 122 (1988) Sheets 121 and 122: Extruded silicone sleeving.
684-3-201 (1991) Sheet 201: Heat shrinkable sleeving, general purpose, flexible, crosslinked PVC, shrink ratio 2 to 1.
684-3-209 (1987) Sheet 209: Heat shrinkable sleeving, general purpose, flame retarded polyolefin shrink ratio 2:1.
684-3-240 to 243 (1991) Specification for flexible insulating sleeving for electrical purposes - Part 3: Specification requirements for individual types of sleeving - Sheets 240 to 243: Heat shrinkable sleeving polytetrafluoroethylene.
684-3-300 (1987) Sheet 300: Glass textile fibre sleeving, braided, uncoated.
684-3-320 (1987) Sheet 320: Polyethylene terephthalate textile, lightly impregnated.
684-3-343 to 345 (1991) Sheets 343 to 345: Expandable braided ethylene chlorotetrafluoroethylene (E-CTFE) textile sleeving, uncoated.
684-3-400 to 402 (1991) Specification for flexible insulating sleeving for electrical purposes - Part 3: Specification requirements for individual types of sleeving - Sheets 400 to 402: Glass textile sleeving with silicon siloxane coating.
684-3-403/405 (1988) Sheets 403 to 405: Glass textile sleeving with acrylic based coating.

(continued)

**Publications de la CEI préparées
par le Comité d'Etudes n° 15 (suite)**

- 684-3-406/408 (1988) Feuilles 406 à 408. Gaines en fibre de verre tissées, avec revêtement PVC.
- 684-3-420 à 422 (1991) Spécification pour gaines isolantes souples à usage électrique - Troisième partie: Spécifications pour types particuliers de gaines - Feuilles 420 à 422: Gaines en tétraphalate de polyéthylène tissées avec revêtement acrylique.
- 699 (1981) Méthode d'essai destinée à l'évaluation du pouvoir agglomérant des vernis d'imprégnation par la méthode du balaceau de fils.
- 707 (1981) Méthodes d'essai pour évaluer l'inflammabilité des matériaux isolants électriques solides soumis à une source d'allumage.
- 763 - Spécification pour cartons comprimés et contreplaqués.
- 763-1 (1983) Première partie: Définitions, classification et prescriptions générales.
- 763-2 (1991) Spécification pour cartons comprimés et contreplaqués. Deuxième partie: Méthodes d'essai.
- 795 (1984) Méthode d'essai pour évaluer l'endurance thermique des matériaux sous forme de feuille souple par la méthode du tube enroulé.
- 819 - Spécification pour papiers non cellulosiques à usages électriques.
- 819-1 (1985) Première partie: Définitions et prescriptions générales.
- 819-3-3 (1991) Spécifications pour matériaux particuliers. Feuille 3: Papiers d'écaule polyamide aromatiques non chargés.
- 829 (1988) Méthodes d'essai pour évaluer l'inflammabilité des matériaux isolants électriques solides soumis à des sources de chaleur constituées de fils chauffés électriquement.
- 893 - Spécification pour les stratifiés industriels rigides en plaques à base de résines thermosensibles à usages électriques.
- 893-1 (1987) Première partie: Définitions, désignations et prescriptions générales.
- 1006 (1991) Méthodes d'essai pour la détermination de la température de transition vitreuse des matériaux isolants électriques.
- 1026 (1991) Guide pour l'application des méthodes d'essai analytiques au l'endurance thermique des matériaux isolants électriques.
- 1033 (1991) Méthodes d'essai pour la détermination du pouvoir agglomérant des agents d'imprégnation sur fil émaillé.
- 1061-1 (1991) Spécification pour stratifiés de bois densifiés, non imprégnés, à usages électriques. Première partie: Définitions, désignation et prescriptions générales.
- 1067-1 (1991) Spécification pour rubans tissés en fibres de verre ou en fibres de verre et de polyester. Partie 1: Définitions, classification et prescriptions générales.
- 1068 - Spécification pour rubans tissés en fibres de polyester.
- 1068-1 (1991) Partie 1: Définitions, désignation et prescriptions générales.
- 1068-2 (1991) Partie 2: Méthodes d'essai.
- 1072 (1991) Méthodes d'essai pour évaluer la résistance des matériaux isolants à la formation d'arborescences électriques.
- 1074 (1991) Détermination des chaleurs et températures de fusion et de cristallisation des matériaux isolants électriques, par calorimétrie différentielle compensative.
- 1086-1 (1991) Spécification pour matériaux d'enrobage. Partie 13: Définitions, classification et règles générales.
- 1087 (1991) Guide d'évaluation des décharges provenant d'une surface chargée.

**IEC publications prepared
by Technical Committee No. 15 (continued)**

- 684-3-406/408 (1988) Sheets 406 to 408. Glass textile sleeving with PVC based coating.
- 684-3-420 to 422 (1991) Specification for flexible insulating sleeving for electrical purposes - Part 3: Specification requirements for individual types of sleeving - Sheets 420 to 422: Polyethylene terephthalate textile with acrylic based coating.
- 699 (1981) Test method for the evaluation of bond strength of impregnating varnishes by the wire bundle test.
- 707 (1981) Methods of test for the determination of the flammability of solid electrical insulating materials when exposed to an igniting source.
- 763 - Specification for laminated preboard.
- 763-1 (1983) Part 1: Definitions, classification and general requirements.
- 763-2 (1991) Specification for laminated preboard - Part 2: Methods of test.
- 795 (1984) Test method for evaluating thermal endurance of flexible sheet materials using the wrapped tube method.
- 819 - Specification for non-cellulosic papers for electrical purposes.
- 819-1 (1985) Part 1: Definitions and general requirements.
- 819-3-3 (1991) Specifications for individual materials. Sheet 3: Unfilled aramid (aromatic polyamide) papers.
- 829 (1988) Methods of test for the determination of the flammability of solid electrical insulating materials when exposed to electrically heated wire sources.
- 893 - Specification for industrial rigid laminated sheets based on thermosetting resins for electrical purposes.
- 893-1 (1987) Part 1: Definitions, designations and general requirements.
- 1006 (1991) Methods of test for the determination of the glass transition temperature of electrical insulating materials.
- 1026 (1991) Guidelines for application of analytical test methods for thermal endurance testing of electrical insulating materials.
- 1033 (1991) Test methods for the determination of bond strength of impregnating agents on an enameled wire substrate.
- 1061-1 (1991) Specification for non-impregnated densified laminated wood for electrical purposes. Part 1: Definitions, designation and general requirements.
- 1067-1 (1991) Specification for glass and glass polyester fibres woven tapes Part 1: Definitions, classification and general requirements.
- 1068 - Specification for polyester fibre woven tapes.
- 1068-1 (1991) Part 1: Definitions, designation and general requirements.
- 1068-2 (1991) Part 2: Methods of test.
- 1072 (1991) Tests for initiation of electrical trees during short-time overloading.
- 1074 (1991) Determination of heats and temperatures of melting and crystallization of electrically insulating materials by differential scanning calorimetry.
- 1086-1 (1991) Specification for conformal coating materials. Part 1: Definitions, classification and general requirements.
- 1087 (1991) Guide for evaluating the discharges from a charged surface.

Publication 1072

Typeset and printed by the IEC Central Office
GENEVA, SWITZERLAND