

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60216-6

Première édition
First edition
2003-12

**Matériaux isolants électriques –
Propriétés d'endurance thermique –**

**Partie 6:
Détermination des indices d'endurance thermique
(TI et RTE) d'un matériau isolant en utilisant la
méthode de trame de durées fixes**

**Electrical insulating materials –
Thermal endurance properties –**

**Part 6:
Determination of thermal endurance indices
(TI and RTE) of an insulating material
using the fixed time frame method**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60216-6:2003

Numérotation des publications

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

Editions consolidées

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

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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

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

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

- IEC Just Published

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

- Service clients

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

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

Publication numbering

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

Consolidated editions

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

Further information on IEC publications

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

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

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

- IEC Just Published

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

- Customer Service Centre

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

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

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60216-6

Première édition
First edition
2003-12

**Matériaux isolants électriques –
Propriétés d'endurance thermique –**

**Partie 6:
Détermination des indices d'endurance thermique
(TI et RTE) d'un matériau isolant en utilisant la
méthode de trame de durées fixes**

**Electrical insulating materials –
Thermal endurance properties –**

**Part 6:
Determination of thermal endurance indices
(TI and RTE) of an insulating material
using the fixed time frame method**

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

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

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

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

X

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	6
1 Domaine d'application	10
2 Références normatives	10
3 Termes, définitions, symboles et abréviations	12
3.1 Termes, abréviations et définitions	12
3.2 Symboles et abréviations	18
4 Protocole FTFM – Principes et objectifs	20
4.1 Principes du protocole FTFM	20
4.2 Objectifs du protocole FTFM	20
5 Détermination de TI	22
5.1 Méthodes de vieillissement	22
5.2 Durées et températures de vieillissement	22
5.3 Eprouvettes	24
5.4 Essais de diagnostic	26
5.5 Choix des fins de vie	26
5.6 Etablissement de valeur de propriété initiale	26
5.7 Conditions de vieillissement	28
5.8 Méthode de vieillissement	28
6 Méthodes de calcul	30
6.1 Principes généraux	30
6.2 Précision de calculs	32
6.3 Dérivation des températures équivalentes aux valeurs de propriété	32
6.4 Analyse de régression (température en fonction du temps)	38
6.5 Essais statistiques	42
6.6 Graphique d'endurance thermique	46
7 Calcul et exigences pour les résultats	48
7.1 Calcul des caractéristiques d'endurance thermique	48
7.2 Ecriture des résultats	48
8 Rapport	50
9 Détermination de l'RTE – Objectifs	50
10 Symboles additionnels	52
11 Méthodes expérimentales	52
12 Méthodes de calcul	54
12.1 Principes généraux	54
12.2 Données d'entrée	54
12.3 RTE	14
12.4 Limites de confiance	56
12.5 Extrapolation	60
13 Résultats et rapport	60
13.1 Résultats des essais statistiques et numériques	60
13.2 Résultat	60
13.3 Rapport	60

CONTENTS

FOREWORD.....	5
1 Scope.....	11
2 Normative references	11
3 Terms, definitions, symbols and abbreviated terms.....	13
3.1 Terms, abbreviations and definitions	13
3.2 Symbols and abbreviated terms.....	19
4 FTFM protocol – Principles and objectives	21
4.1 Principles of FTFM protocol.....	21
4.2 Objectives of FTFM protocol.....	21
5 TI determination	23
5.1 Ageing procedures	23
5.2 Ageing times and temperatures	23
5.3 Test specimens	25
5.4 Diagnostic tests.....	27
5.5 Selection of end-points.....	27
5.6 Establishment of initial property value	27
5.7 Ageing conditions.....	29
5.8 Procedure for ageing.....	29
6 Calculation procedures.....	31
6.1 General principles	31
6.2 Precision of calculations.....	33
6.3 Derivation of temperatures equivalent to property values.....	33
6.4 Regression analysis (temperature on time).....	39
6.5 Statistical tests.....	43
6.6 Thermal endurance graph	47
7 Calculation and requirements for results.....	49
7.1 Calculation of thermal endurance characteristics.....	49
7.2 Reporting of results.....	49
8 Report.....	51
9 RTE Determination – Objectives.....	51
10 Additional symbols	53
11 Experimental procedures	53
12 Calculation procedures.....	55
12.1 General principles	55
12.2 Input data.....	55
12.3 RTE.....	57
12.4 Confidence limits.....	57
12.5 Extrapolation	61
13 Results and report.....	61
13.1 Results of statistical and numerical tests	61
13.2 Result	61
13.3 Report.....	61

Annexe A (normative) Organigramme de décision.....	62
Annexe B (normative) Tableau de décision	64
Annexe C (informative) Tableaux statistiques	66
Annexe D (informative) Durées et températures de vieillissement suggérées	72
Annexe E (informative) Figures	76
Annexe F (normative) Signification statistique de la différence entre deux estimations de régression.....	82
Figure E.1 – Graphique de la propriété en fonction de la température avec droite de régression.....	76
Figure E.2 – Graphique d'endurance thermique	76
Figure E.3 – Durées de vieillissement en fonction des températures en relation avec l'endurance thermique	78
Figure E.4 – Durées de vieillissement en fonction des températures en relation avec l'endurance thermique	78
Figure E.5 – Durées de vieillissement en fonction des températures en relation avec l'endurance thermique	80
Tableau B.1 – Tableau de décision	64
Tableau C.1 – Valeurs de χ^2	66
Tableau C.2 – Fonction t	66
Tableau C.3 – Fonction F , $P = 0,05$	68
Tableau C.4 – Fonction F , $P = 0,005$	70
Tableau D.1 – Durées et températures de vieillissement.....	72

Annex A (normative) Decision flow chart.....	63
Annex B (normative) Decision table	65
Annex C (informative) Statistical tables.....	67
Annex D (informative) Suggested ageing times and temperatures.....	73
Annex E (informative) Figures.....	77
Annex F (normative) Statistical significance of the difference between two regression estimates	83
Figure E.1 – Property–temperature graph with regression line	77
Figure E.2 – Thermal endurance graph	77
Figure E.3 – Ageing times and temperatures in relation to thermal endurance graph	79
Figure E.4 – Ageing times and temperatures in relation to thermal endurance graph	79
Figure E.5 – Ageing times and temperatures in relation to thermal endurance graph	81
Table B.1 – Decision table	65
Table C.1 – χ^2 -function	67
Table C.2 – t -function.....	67
Table C.3 – F -function, $P = 0,05$	69
Table C.4 – F -function, $P = 0,005$	71
Table D.1 – Ageing temperatures and ageing periods	73

Withholding

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MATÉRIAUX ISOLANTS ÉLECTRIQUES – PROPRIÉTÉS D'ENDURANCE THERMIQUE –

Partie 6: Détermination des indices d'endurance thermique (TI et RTE) d'un matériau isolant en utilisant la méthode de trame de durées fixes

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60216-6 a été établie par le sous-comité 15E: Méthodes d'essais, du comité d'études 15 de la CEI: Matériaux isolants.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
15E/221/FDIS	15E/225/RVD

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**ELECTRICAL INSULATING MATERIALS –
THERMAL ENDURANCE PROPERTIES –****Part 6: Determination of thermal endurance indices (TI and RTE)
of an insulating material using the fixed time frame method**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60216-6 has been prepared by subcommittee 15E, Methods test, of IEC technical committee 15: Insulating materials.

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

FDIS	Report on voting
15E/221/FDIS	15E/225/RVD

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

La CEI 60216 présentée sous le titre général *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique*, comprend les parties suivantes:

- Partie 1: Méthodes de vieillissement et évaluation des résultats d'essai
- Partie 2: Choix de critères d'essai
- Partie 3: Instructions pour le calcul des caractéristiques d'endurance thermique
- Partie 4: Etuves de vieillissement
- Partie 5: Détermination de l'indice d'endurance thermique relatif (RTE) d'un matériau isolant
- Partie 6: Détermination des indices d'endurance thermique (TI et RTE) d'un matériau isolant en utilisant la méthode de trame de durées fixes

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

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

Le contenu du corrigendum de mars 2005 a été pris en considération dans cet exemplaire.

Withdrawing

IEC 60216, under the general title *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties*, consists of the following parts:

- Part 1: Ageing procedures and evaluation of test results
- Part 2: Choice of test criteria
- Part 3: Instructions for calculating thermal endurance characteristics
- Part 4: Ageing ovens
- Part 5: Determination of relative thermal endurance index (RTE) of an insulating material
- Part 6: Determination of thermal endurance indices (TI and RTE) of an insulating material using the fixed time frame protocol

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

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

The contents of the corrigendum of March 2005 have been included in this copy.

Withdrawn

MATÉRIAUX ISOLANTS ÉLECTRIQUES – PROPRIÉTÉS D'ENDURANCE THERMIQUE –

Partie 6: Détermination des indices d'endurance thermique (TI et RTE) d'un matériau isolant en utilisant la méthode de trame de durées fixes

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60216 spécifie les méthodes expérimentales et de calcul à utiliser pour en extraire les caractéristiques d'endurance thermique, l'indice de température (TI) et l'indice d'endurance thermique relatif (RTE) d'un matériau en utilisant la méthode de «trame de durées fixes (fixed time frame)».

Avec ce protocole, le vieillissement se produit après un petit nombre de durées déterminées, en utilisant le nombre approprié de températures de vieillissement tout au long de chaque durée pertinente, les propriétés des éprouvettes étant mesurées à la fin de chaque intervalle de temps. Cela diffère de la méthode de la CEI 60216-1, dans laquelle le vieillissement est effectué à un petit nombre de températures déterminées, la mesure des propriétés des éprouvettes se produisant après des durées de vieillissement variables en fonction de la progression du vieillissement.

Les deux indices d'endurance thermique, TI et RTE déterminés selon le protocole FTFM (fixed time frame method), sont déduits des données expérimentales obtenues conformément aux instructions de la CEI 60216-1 et de la CEI 60216-2, et conformément aux modifications de la présente norme. Les méthodes de calcul et les essais statistiques sont différents de ceux de la CEI 60216-3 et de la CEI 60216-5.

2 Références normatives

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

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

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

CEI 60216-2:1990, *Guide pour la détermination des propriétés d'endurance thermique de matériaux isolants électriques – Partie 2: Choix de critères d'essai*

CEI 60216-3:2002, *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique – Partie 3: Instructions pour le calcul des caractéristiques d'endurance thermique*

CEI 60216-4-1:1990, *Guide pour la détermination des propriétés d'endurance thermique de matériaux isolants électriques – Partie 4: Etuves de vieillissement – Section 1: Etuves à une seule chambre*

CEI 60216-4-2:2000, *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique – Partie 4-2: Etuves de vieillissement – Etuves de précision pour des utilisations pouvant atteindre 300 °C*

ELECTRICAL INSULATING MATERIALS – THERMAL ENDURANCE PROPERTIES –

Part 6: Determination of thermal endurance indices (TI and RTE) of an insulating material using the fixed time frame method

1 Scope

This part of IEC 60216 specifies the experimental and calculation procedures for deriving the thermal endurance characteristics, temperature index (TI) and relative thermal endurance index (RTE) of a material using the “fixed time frame method (FTFM)”.

In this protocol, the ageing takes place for a small number of fixed times, using the appropriate number of ageing temperatures throughout each time, the properties of the specimens being measured at the end of the relevant time interval. This differs from the procedure of IEC 60216-1, where ageing is conducted at a small number of fixed temperatures, property measurement taking place after ageing times dependent on the progress of ageing.

Both the TI and the RTE determined according to the FTFM protocol are derived from experimental data obtained in accordance with the instructions of IEC 60216-1 and IEC 60216-2, as modified in this standard. The calculation procedures and statistical tests are modified in relation to IEC 60216-3 and IEC 60216-5.

2 Normative references

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

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

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

IEC 60216-2:1990, *Guide for the determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials – Part 2: Choice of test criteria*

IEC 60216-3:2002, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 3: Instructions for calculating thermal endurance characteristics*

IEC 60216-4-1:1990, *Guide for the determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials – Part 4: Ageing ovens – Section 1: Single-chamber ovens*

IEC 60216-4-2:2000, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 4-2: Ageing ovens – Precision ovens for use up to 300 °C*

CEI 60216-4-3:2000, *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique – Partie 4-3: Etuves de vieillissement – Etuves à chambres multiples*

CEI 60216-5:2003, *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique – Partie 5: Détermination de l'indice d'endurance thermique relatif (RTE) d'un matériau isolant*

CEI 60493-1:1974, *Guide pour l'analyse statistique de données d'essai de vieillissement – Partie 1: Méthodes basées sur les valeurs moyennes de résultats d'essais normalement distribués*

3 Termes, définitions, symboles, et abréviations

Pour les besoins de la présente partie de la CEI 60216, les termes, définitions, symboles et abréviations suivants s'appliquent.

3.1 Termes, abréviations et définitions

3.1.1

indice d'endurance thermique évaluée
ATE (assessed thermal endurance index)

valeur numérique de la température en degrés Celsius, jusqu'à laquelle le matériau de contrôle possède des aptitudes en service connues et satisfaisantes dans l'application spécifiée

NOTE 1 L'ATE d'un matériau spécifique peut varier selon les différentes applications de ce matériau.

NOTE 2 L'ATE est parfois appelé indice d'endurance thermique «absolue».

3.1.2

température de vieillissement

température, exprimée en degrés Celsius, à laquelle un groupe d'éprouvettes est vieilli thermiquement

3.1.3

température de fin de vie

température, exprimée en degrés Celsius, à laquelle une éprouvette est considérée comme ayant atteint sa fin de vie après avoir vieilli pendant la durée spécifiée

3.1.4

matériau candidat

matériau pour lequel il est requis de réaliser une estimation de l'endurance thermique

NOTE La détermination est faite par vieillissement thermique du matériau et simultanément du matériau de contrôle.

3.1.5

moment centré d'ordre 2 d'un groupe de données

somme des carrés des différences entre les valeurs des données et la valeur de la moyenne du groupe divisée par le nombre de données dans le groupe

3.1.6

limite de l'intervalle de confiance à 95 %

paramètre statistique, calculé à partir des données d'essai, constituant avec un taux de confiance de 95 %, une limite supérieure ou inférieure de la vraie valeur d'une quantité estimée par analyse statistique

NOTE 1 Ce qui suppose qu'il n'y a que 5 % de probabilité que la vraie valeur de la quantité estimée soit effectivement supérieure (ou inférieure) à la limite de l'intervalle de confiance supérieur (ou inférieur).

NOTE 2 Dans d'autres contextes, des valeurs de confiance autres que 95 % peuvent parfois être utilisées, par exemple dans l'essai de linéarité pour des données d'essai destructif.

IEC 60216-4-3:2000, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 4-3: Ageing ovens – Multi-chamber ovens*

IEC 60216-5:2003, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 5: Determination of relative thermal endurance index (RTE) of an insulating material*

IEC 60493-1:1974, *Guide for the statistical analysis of ageing test data – Part 1: Methods based on mean values of normally distributed test results*

3 Terms, definitions, symbols and abbreviated terms

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

3.1 Terms, abbreviations and definitions

3.1.1

assessed thermal endurance index

ATE

numerical value of the temperature in degrees Celsius, up to which the control material possesses known, satisfactory service performance in the specified application

NOTE 1 The ATE of a specific material may vary between different applications of the material.

NOTE 2 ATE is sometimes referred to as “absolute” thermal endurance index.

3.1.2

ageing temperature

temperature in degrees Celsius at which a group of specimens is thermally aged

3.1.3

end-point temperature

temperature in degrees Celsius at which a specimen is considered to have reached its end-point after ageing for the specified time

3.1.4

candidate material

material for which an estimate of the thermal endurance is required to be determined

NOTE The determination is made by simultaneous thermal ageing of the material and a control material.

3.1.5

central second moment of a data group

sum of the squares of the differences between the data values and the value of the group mean divided by the number of data in the group

3.1.6

95 % confidence limit

statistical parameter, calculated from test data, which with 95 % confidence constitutes an upper or lower limit for the true value of a quantity estimated by statistical analysis

NOTE 1 This implies that there is only 5 % probability that the true value of the quantity estimated is actually larger (or smaller) than the upper (or lower) confidence limit.

NOTE 2 In other connections, confidence values other than 95 % may sometimes be used, e.g. in the linearity test for destructive test data.

3.1.7

matériau de contrôle

matériau à l'indice d'endurance thermique évaluée (ATE) connu, de préférence déduit de l'expérience en service, utilisé comme référence pour des essais comparatifs avec un matériau candidat

3.1.8

coefficient de corrélation

nombre exprimant l'intégrité de la relation entre les membres de deux ensembles de données, égal à la covariance divisée par la racine carrée du produit des variances des ensembles

NOTE 1 Le carré de la valeur de ce coefficient est compris entre 0 (pas de corrélation) et 1 (corrélation parfaite).

NOTE 2 Dans la présente norme, les deux ensembles de données sont les valeurs de la variable indépendante et les moyennes des groupes de la variable dépendante.

3.1.9

temps de corrélation du RTE

durée estimée jusqu'en fin de vie du matériau de contrôle obtenue pour une température en degrés Celsius égale à son ATE

3.1.10

temps de corrélation de TI

durée hypothétique jusqu'en fin de vie utilisée pour calculer TI

NOTE 20 000 h est la valeur usuelle du temps de corrélation.

3.1.11

covariance d'ensembles de données

pour deux ensembles de données ayant un nombre égal d'éléments, chaque élément d'un ensemble correspondant à un élément de l'autre ensemble, il s'agit de la somme des produits des écarts types des membres correspondants par rapport à leurs moyennes d'ensemble, divisée par le nombre de degré de liberté

3.1.12

degrés de liberté

nombre de valeurs de données moins le nombre de valeurs de paramètres

3.1.13

essai destructif

essai de propriété diagnostic dans lequel l'éprouvette est irrémédiablement altérée par la mesure de propriété, excluant ainsi toute possibilité de répéter la mesure sur le même échantillon

3.1.14

droite de fin de vie

droite parallèle à l'axe des températures coupant l'axe des propriétés au point de fin de vie

3.1.15

intervalle de divisions par deux

HIC (halving interval)

valeur numérique de l'intervalle de température en kelvins, qui exprime la division par deux du temps pour atteindre le point limite, pris à la température de l'indice TI

3.1.16

analyse de régression

processus de déduction de la meilleure droite exprimant la relation entre les membres correspondant de deux groupes de données en minimisant la somme des carrés des écarts types de l'un des groupes à partir de la droite

3.1.7**control material**

material with known assessed thermal endurance index (ATE), preferably derived from service experience, used as a reference for comparative tests with the candidate material

3.1.8**correlation coefficient**

number expressing the completeness of the relation between members of two data sets, equal to the covariance divided by the square root of the product of the variances of the sets

NOTE 1 The value of its square is between 0 (no correlation) and 1 (complete correlation).

NOTE 2 In this standard, the two data sets are the values of the independent variable and the means of the dependent variable groups.

3.1.9**correlation time of RTE**

estimated time to end-point of the control material at a temperature equal to its ATE in degrees Celsius

3.1.10**correlation time of TI**

hypothetical time to end-point used to calculate TI

NOTE Its usual value is 20 000 h.

3.1.11**covariance of data sets**

for two sets of data with equal numbers of elements where each element in one set corresponds to one in the other, the sum of the products of the deviations of the corresponding members from their set means, divided by the number of degrees of freedom

3.1.12**degrees of freedom**

number of data values minus the number of parameter values

3.1.13**destructive test**

diagnostic property test, where the test specimen is irreversibly changed by the property measurement, in a way which precludes a repeated measurement on the same specimen

3.1.14**end-point line**

line parallel to the temperature axis intercepting the property axis at the end-point value

3.1.15**halving interval****HIC**

numerical value of the temperature interval in kelvin which expresses the halving of the time to end-point taken at a time equal to TI

3.1.16**regression analysis**

process of deducing the best fit line expressing the relation of corresponding members of two data groups by minimizing the sum of squares of deviations of members of one of the groups from the line

3.1.17

coefficients de régression

coefficients de l'équation déduite par l'analyse de régression

3.1.18

indice d'endurance thermique relative

RTE (relative thermal endurance index)

estimation de l'endurance thermique du matériau candidat faite par vieillissement thermique du matériau candidat et simultanément du matériau de contrôle, comme décrit dans la présente norme

NOTE Il s'agit de la valeur de la température exprimée en degrés Celsius pour laquelle la durée estimée jusqu'en fin de vie du matériau candidat est la même que la durée estimée jusqu'en fin de vie du matériau de contrôle obtenue pour une température égale à son endurance thermique évaluée ATE.

3.1.19

signification statistique

probabilité d'une valeur d'une fonction statistique supérieure à une valeur spécifiée

NOTE La valeur est égale à $(1 - p)$ où p est la valeur de la fonction de distribution cumulative. La signification statistique est conventionnellement imprimée en majuscule (P).

3.1.20

écart type

racine carrée de la variance d'un groupe ou d'un sous-groupe de données

3.1.21

erreur type d'une estimation de la vraie valeur d'une propriété d'un groupe de données

valeur de l'écart type de la population échantillon supposée pour laquelle la propriété du groupe peut être considérée comme membre de ce groupe

NOTE Pour une estimation de la moyenne du groupe, l'erreur type est égale à l'écart type du groupe divisé par la racine carrée du nombre de données dans le groupe, et elle indique l'incertitude dans l'estimation de la moyenne dans la valeur réelle. Cet écart type concerne uniquement les moyennes et les différences entre deux moyennes.

3.1.22

indice de température

TI (temperature index)

valeur numérique de la température, en degrés Celsius, obtenue à partir de la relation d'endurance thermique pour une durée de 20 000 h (ou pour une autre durée spécifiée)

3.1.23

groupe de températures (des éprouvettes)

nombre d'éprouvettes étant exposées ensemble au vieillissement thermique à la même température dans la même étuve

NOTE Quand il n'y a aucun risque d'ambiguïté, les groupes des températures ou les groupes des essais peuvent être appelés simplement «groupes».

3.1.24

groupe d'essai (des éprouvettes)

nombre d'éprouvettes retirées ensemble d'un groupe des températures pour être soumises à l'essai destructif

NOTE Quand il n'y a aucun risque d'ambiguïté, les groupes des températures ou les groupes des essais peuvent être appelés simplement «groupes».

3.1.25

graphique d'endurance thermique

graphique dans lequel le logarithme du temps pour atteindre une fin de vie spécifiée dans un essai d'endurance thermique est tracé en fonction de la température d'essai (absolue) thermodynamique inverse

3.1.17**regression coefficients**

coefficients of the equation derived by regression analysis

3.1.18**relative thermal endurance index****RTE**

estimate of the thermal endurance of a candidate material, made by thermal ageing simultaneously with the control material, as described in this standard

NOTE The value of RTE is the value of the temperature in degrees Celsius at which the estimated time to end-point of the candidate material is the same as the estimated time to end-point of the control material at a temperature equal to its ATE.

3.1.19**significance**

probability of a value of a statistical function greater than a specified value

NOTE The value is equal to $(1 - p)$ where p is the cumulative distribution function value. Significance is conventionally printed in upper case (P).

3.1.20**standard deviation**

square root of the variance of a data group or sub-group

3.1.21**standard error of an estimate of the true value of a data group property**

value of the standard deviation of the hypothetical sampling population of which the group property may be considered to be a member

NOTE For an estimate of the group mean, the standard error is equal to the group standard deviation divided by the square root of the number of data in the group, and indicates the uncertainty in the estimate of the true value of the mean. This standard is concerned only with means and the difference between two means.

3.1.22**temperature index****TI**

numerical value of the temperature in degrees Celsius derived from the thermal endurance relationship at a time of 20 000 h (or other specified time)

3.1.23**temperature group (of specimens)**

number of specimens being exposed together to thermal ageing at the same temperature in the same oven

NOTE Where there is no risk of ambiguity, either temperature groups or test groups may be referred to simply as "groups".

3.1.24**test group (of specimens)**

number of specimens removed together from a temperature group for destructive testing

NOTE Where there is no risk of ambiguity, either temperature groups or test groups may be referred to simply as "groups".

3.1.25**thermal endurance graph**

graph in which the logarithm of the time to reach a specified end-point in a thermal endurance test is plotted against the reciprocal thermodynamic (absolute) test temperature

3.1.26

papier graphique d'endurance thermique

papier de graphique ayant une échelle de temps logarithmique en ordonnée et des valeurs inversement proportionnelles à la température (absolue) thermodynamique en abscisse

NOTE L'ordonnée est en puissances de dix (10 h à 100 000 h constitue souvent une échelle pratique). L'abscisse est généralement graduée en échelle de température (Celsius) non linéaire, la température augmentant de la gauche vers la droite.

3.1.27

groupe de durée (des éprouvettes)

tous les groupes d'essai retirés pour être soumis à l'essai au même moment

3.1.28

variance du groupe de données

somme des carrés des écarts types des données par rapport à un niveau de référence défini par un ou plusieurs paramètres divisée par le nombre de degrés de liberté

NOTE Le niveau de référence peut être, par exemple, une valeur moyenne (1 paramètre) ou une droite (2 paramètres, dans le cas présent, l'intersection avec l'axe de la variable indépendante et la pente).

3.2 Symboles et abréviations

Les symboles suivants sont utilisés dans les calculs des Articles 6, 7 et 12.

Symbole	Description	Paragraphe
a	Coefficient de régression: intersection de la droite de régression avec l'axe des x	6.4.3
b	Coefficient de régression: pente de la droite de régression par rapport à l'axe des y	6.4.3
b_r	Paramètre déduit de b pour calculer $\hat{y}_c$	6.5.3
c	Paramètre de calcul de χ^2	6.5.1
F	Rapport de variance distribuée F pour essai de linéarité	6.3.3, 6.5.2
g, h, i, j	Paramètres d'indexation pour les calculs de régression	6.3, 6.4
HIC	Intervalle de division par deux d'un matériau candidat	7.1
k	Nombre de durées de vieillissement	6.1.1
N	Nombre total de valeurs de x_{ij}	6.4.2
n_i	Nombre de valeurs de x_{ij} du groupe des durées i	6.1.1
P	Signification statistique de la valeur d'une fonction d'essai statistique	Annexes A, B et C
p_e	Valeur de propriété de fin de vie	6.3
p_{gh}	Valeur de propriété h dans un groupe des températures g (groupe des durées i supposé)	6.3
$\bar{p}_g$	Valeur moyenne de propriété dans un groupe des températures g (groupe des durées i supposé)	6.3
q	Base de logarithmes dans le calcul de χ^2	6.5.1
r	Nombre de groupes des températures sélectionnés dans le groupe des durées i	6.3.2
r^2	Carré du coefficient de corrélation	6.4.3
s^2	Variance (non-régression) totale des valeurs de x	6.5.2

3.1.26**thermal endurance graph paper**

graph paper having a logarithmic time scale as the ordinate and values proportional to the reciprocal of the thermodynamic (absolute) temperature as the abscissa

NOTE The ordinate is in powers of ten (from 10 h to 100 000 h is often a convenient range). The abscissa is usually graduated in a non-linear (Celsius) temperature scale oriented with temperature increasing from left to right.

3.1.27**time group (of specimens)**

all test groups removed for testing at the same time

3.1.28**variance of a data group**

sum of the squares of the deviations of the data from a reference level defined by one or more parameters divided by the number of degrees of freedom

NOTE The reference level may, for example be a mean value (1 parameter) or a line (2 parameters, in this case intercept on the axis of the independent variable and slope).

3.2 Symbols and abbreviated terms

The following symbols are used in the calculations of Clauses 6, 7 and 12.

Symbol	Description	Clause
a	Regression coefficient: intercept of regression line with x -axis	6.4.3
b	Regression coefficient: slope of regression line relative to y -axis	6.4.3
b_r	Parameter derived from b for calculation of $\hat{Y}_c$	6.5.3
c	Parameter in calculation of χ^2	6.5.1
F	F -distributed variance ratio for linearity test	6.3.3, 6.5.2
g, h, i, j	Indexing parameters for regression calculations	6.3, 6.4
HIC	Halving interval	7.1
k	Number of ageing times	6.1.1
N	Total number of x_{ij} values	6.4.2
n_i	Number of x_{ij} values in time group i	6.1.1
P	Significance of the value of a statistical test function	Annexes A, B, and C
p_e	End-point property value	6.3
p_{gh}	Property value h in temperature group g (time group i implied)	6.3
$\bar{p}_g$	Mean property value in temperature group g (time group i implied)	6.3
q	Base of logarithms in calculation of χ^2	6.5.1
r	Number of temperature groups selected in time group i	6.3.2
r^2	Square of correlation coefficient	6.4.3
s^2	Total (non-regression) variance of x -values	6.5.2

Symbole	Description	Paragraphe
s_{1g}^2	Variance de valeurs de propriété dans un groupe des températures g (groupe des durées i supposé)	6.3.2
s_a^2	Valeur de s^2 ajustée pour permettre une non-linéarité acceptable	6.5.2
s_r^2	Paramètre déduit de s^2 pour calculer $\hat{Y}_c$	6.5.3
t	Variable stochastique distribuée t selon la loi de Student	6.5.3
TC, TC _a	Limite inférieure de confiance de TI ou TI _a (voir s_a^2 ci-dessus)	6.5.3
t_p, N	Valeur de t au niveau de confiance p et à N degrés de liberté	6.5.3
x_{ij}	Valeur de x , numéro d'indice j , dans le groupe des durées i	6.3.4
$\bar{x}$	Moyenne générale des valeurs de x	6.4.2
$\hat{X}, \hat{X}_c$	Estimation de x et de ses limites de confiance	6.5.3
y_i	Valeur de y pour groupe des durées i	6.1.1
$\bar{y}$	Moyenne générale des valeurs de y	6.4.2
$\hat{Y}, \hat{Y}_c$	Estimation de y et de ses limites de confiance	6.5.3
z_{ij}	Température kelvin inverse pour ϑ_{ij}	6.1.1
$\mu_2(y)$	Moment centré d'ordre 2 des valeurs de y	6.4.2
ν	Nombre total des valeurs de propriété dans un groupe de durées (i supposé)	6.3.2
χ^2	Variable distribuée χ^2 pour essai (de Bartlett) d'égalité de variance	6.5.1
ϑ_{ij}	Température de vieillissement pour groupe d'éprouvette j dans un groupe de durées i	6.1.1
θ_0	273,15 = valeur kelvin de 0 °C	6.1.1
τ_i	Durée de vieillissement pour un groupe de durées i	6.1.1

4 Protocole FTFM – Principes et objectifs

4.1 Principes du protocole FTFM

Le protocole FTFM (méthode de trame à durées fixes (fixed time frame method)) est basé sur le principe selon lequel le vieillissement thermique pour déterminer des caractéristiques d'endurance thermique est effectué sur un faible nombre de durées fixes, avec une série de températures de vieillissement pour chaque durée afin d'être sûr d'atteindre la fin de vie d'une manière satisfaisante.

En cela il diffère de la méthode conventionnelle (trame à température fixe) dans laquelle un petit nombre de températures de vieillissement est employé et dans laquelle le vieillissement est effectué par essais à intervalles jusqu'à ce que la fin de vie soit atteinte.

4.2 Objectifs du protocole FTFM

L'objectif du protocole est d'obtenir les avantages suivants:

Symbol	Description	Clause
s_{1g}^2	Variance of property values in temperature group g (time group i implied)	6.3.2
s_a^2	Value of s^2 adjusted to allow for acceptable non-linearity.	6.5.2
s_r^2	Parameter derived from s^2 for calculation of $\hat{Y}_c$	6.5.3
t	Student's t -distributed stochastic variable	6.5.3
TC, TC _a	Lower confidence limit of TI or TI _a (see s_a^2 above)	6.5.3
t_p, N	Value of t with probability p and N degrees of freedom	6.5.3
x_{ij}	Value of x , index number j , in time group i	6.3.4
$\bar{x}$	General mean of x -values	6.4.2
$\hat{X}, \hat{X}_c$	Estimate of x , and its confidence limit	6.5.3
y_i	Value of y for time group i	6.1.1
$\bar{y}$	General mean of y -values	6.4.2
$\hat{Y}, \hat{Y}_c$	Estimate of y , and its confidence limit	6.5.3
z_{ij}	Reciprocal kelvin temperature for ϑ_{ij}	6.1.1
$\mu_2(y)$	Central 2 nd moment of y values	6.4.2
ν	Total number of property values in time group (i implied)	6.3.2
χ^2	χ^2 distributed variable for variance equality (Bartlett's) test	6.5.1
ϑ_{ij}	Ageing temperature for specimen group j in time group i	6.1.1
Θ_0	273,15 = kelvin value of 0 °C	6.1.1
τ_i	Ageing time for time group i	6.1.1

4 FTFM protocol – Principles and objectives

4.1 Principles of FTFM protocol

The FTFM (fixed time frame method) protocol is based upon the principle that thermal ageing for determination of thermal endurance characteristics is carried out over a small number of fixed times, with a sufficient range of ageing temperatures at each time to ensure that the end-point is reached in a satisfactory manner.

In this it differs from the conventional procedure (fixed temperature frame), where a small number of ageing temperatures is employed, with ageing being carried out with testing at intervals, until the end-point has been reached.

4.2 Objectives of FTFM protocol

The objective of the protocol is to achieve the following advantages:

La détermination des caractéristiques d'endurance thermique est achevée dans une durée prédéterminée fixe.

Cela permet de planifier bien plus efficacement la détermination, ce qui s'avérera souvent être une source d'avantages commerciaux substantiels. La détermination simple d'un TI sera achevée en 5 kh, alors qu'avec le protocole conventionnel, il peut être nécessaire de prolonger considérablement le vieillissement au delà de cette durée avant d'atteindre la fin de vie à la température de vieillissement choisie la plus basse.

Chaque température jusqu'en fin de vie (c'est-à-dire la température moyenne d'un groupe de durées) dans la régression d'endurance thermique est basée sur un nombre de températures qui peut être compris entre trois (3) et le nombre de groupes des températures dans un groupe des durées.

Comme la plus grande source d'erreur systématique dans le protocole conventionnel (trame à température fixe) est l'erreur de température (erreur d'indication réelle ou erreur de distribution de température), les erreurs systématiques peuvent être considérablement réduites. Les erreurs qui en sont issues peuvent conduire à des résultats manquant de précision ou n'étant pas valides à la suite d'une évaluation incorrecte de la linéarité.

5 Détermination de TI

5.1 Méthodes de vieillissement

Il convient que chaque méthode d'essai spécifie la forme, les dimensions et le nombre d'éprouvettes, les durées d'exposition, la propriété à laquelle l'indice TI est lié, les méthodes de sa détermination, la fin de vie, et la dérivation des caractéristiques d'endurance thermique à partir des données expérimentales.

Il est recommandé que la propriété choisie, si possible, reflète de manière significative une fonction du matériau dans la pratique. Un choix de propriétés est donné dans la CEI 60216-2.

Pour fournir des conditions d'essai uniformes, il peut être nécessaire de spécifier le conditionnement des éprouvettes après retrait de l'étuve et avant la mesure.

5.2 Durées et températures de vieillissement

Dans la majorité des cas, les caractéristiques d'endurance thermique sont requises pour une durée prévue de 20 000 h. Cependant, il y a souvent besoin de telles informations pour d'autres durées plus longues ou plus courtes. Dans le cas de durées plus longues, les durées données en recommandation ou en exigence dans le texte de la présente norme (par exemple, 5 000 h pour la valeur minimale de la durée de vieillissement la plus longue) doivent être augmentées dans le rapport de la durée de spécification réelle jusqu'à 20 000 h.

Dans le cas de durées plus courtes, les durées concernées peuvent être diminuées dans le même rapport si nécessaire.

Un soin particulier sera nécessaire pour les durées de spécification très courtes, car les températures de vieillissement les plus élevées peuvent conduire à des zones de température incluant des points de transition, par exemple la température de transition vitreuse ou la fusion partielle, ayant pour conséquence une non-linéarité. Des durées de spécification très longues peuvent aussi conduire à une non-linéarité.

Des recommandations pour les durées et les températures de vieillissement sont données à l'Annexe D.

The determination of thermal endurance characteristics is completed in a fixed, pre-determined time.

This enables much more efficient planning of the determination, and will often have substantial commercial advantage. A simple TI determination will be completed in 5 kh, whereas by the conventional protocol, it may be necessary for ageing to be considerably prolonged past this time to achieve the end-point at the lowest chosen ageing temperature.

Each temperature to end-point (i.e. time-group mean) in the thermal endurance regression is based on a number of temperatures which may be any number between three (3) and the number of temperature groups in a time group.

Since the largest source of systematic error in the conventional (fixed temperature frame) protocol is temperature error (actual indication error or temperature distribution error), systematic errors can be considerably reduced. Errors from this source can lead to results which are either inaccurate or invalid through incorrect assessment of linearity.

5 TI determination

5.1 Ageing procedures

Each test procedure should specify the shape, dimensions and number of the test specimens, the times of exposure, the property to which TI is related, the methods of its determination, the end-point, and the derivation of the thermal endurance characteristics from the experimental data.

The chosen property should, if possible, reflect in a significant fashion a function of the material in practical use. A choice of properties is given in IEC 60216-2.

To provide uniform conditions, the conditioning of specimens after removal from the oven and before measurement may need to be specified.

5.2 Ageing times and temperatures

In the majority of cases, the required thermal endurance characteristics are for a projected duration of 20 000 h. However, there is often a need for such information related to other, longer or shorter times. In cases of longer times, the times given as requirements or recommendations in this standard (e.g. 5 000 h for the minimum value of the longest ageing time) shall be increased in the ratio of the actual specification time to 20 000 h.

In cases of shorter specification times, the related times may be decreased in the same ratio, if necessary.

Particular care will be needed for very short specification times, since the higher ageing temperatures may lead into temperature regions which include transition points, e.g. glass transition temperature or partial melting, with consequent non-linearity. Very long specification times may also lead to non-linearity.

Recommendations for ageing times and temperatures are given in Annex D.

5.3 Eprouvettes

5.3.1 Préparation

Il convient que les échantillons utilisés pour les essais de vieillissement constituent un échantillon aléatoire à partir de la population étudiée et doivent être traités de manière uniforme.

Comme les conditions de mise en forme peuvent affecter de manière significative les caractéristiques de vieillissement de certains matériaux, il faut s'assurer que, par exemple, l'échantillonnage, la découpe de papier du rouleau, la découpe de matériau anisotrope dans un sens donné, le moulage, le durcissement, le pré-conditionnement, soient effectués de la même manière pour toutes les échantillons.

Les spécifications du matériau ou les normes pour les méthodes d'essai de diagnostic contiendront toutes les instructions nécessaires à la préparation des échantillons.

L'épaisseur des échantillons fait partie, dans certains cas, de la liste des mesures de propriétés pour la détermination de l'endurance thermique. Voir CEI 60216-2. Sinon, l'épaisseur doit être notée. Certaines propriétés physiques sont même sensibles à des variations mineures de l'épaisseur de l'échantillon. Dans de tels cas, l'épaisseur après chaque période de vieillissement peut avoir besoin d'être déterminée et notée si cela est exigé dans la spécification concernée.

L'épaisseur est aussi importante parce qu'elle peut faire varier le taux de vieillissement. Les données de vieillissement de matériaux d'épaisseurs différentes ne sont pas toujours comparables. En conséquence, un matériau peut être affecté de plus d'une caractéristique d'endurance thermique déduite de la mesure des propriétés à différentes épaisseurs.

Il convient que les tolérances de dimensions d'échantillon soient identiques aux tolérances utilisées pour les essais généraux. Quand des dimensions d'échantillon nécessitent des tolérances inférieures à celles normalement utilisées, il convient que ces tolérances spéciales soient données.

Les mesures de sélection assurent que les échantillons du matériau à essayer sont typiques et de qualité uniforme.

5.3.2 Nombre d'échantillons

La précision des résultats d'essai d'endurance dépend en grande partie du nombre d'échantillons vieillissant à chaque température.

Le nombre total d'échantillons (N) est déduit de la façon suivante:

$$N = a \times b \times c + d$$

où

- a est le nombre d'échantillons dans un groupe des essais soumis à un traitement identique à une température et éliminé après la détermination de la propriété (généralement cinq);
- b est le nombre de traitements, c'est-à-dire le nombre de températures d'exposition, pour une durée;
- c est le nombre de niveaux de durée de vieillissement;
- d est le nombre d'échantillons du groupe utilisées pour établir la valeur initiale de la propriété. Il est d'usage de choisir $d = 2a$ quand le critère de diagnostic est la variation de pourcentage de la propriété par rapport à son niveau initial. Quand le critère est un niveau de propriété absolu, la valeur zéro est généralement donnée à d , à moins qu'il soit demandé de noter la valeur initiale.

5.3 Test specimens

5.3.1 Preparation

The specimens used for the ageing test should constitute a random sample from the population investigated and shall be treated uniformly.

Since processing conditions may significantly affect the ageing characteristics of some materials, it shall be ensured that, for example, sampling, cutting sheet from the supply roll, cutting of anisotropic material in a given direction, moulding, curing, preconditioning, are performed in the same manner for all specimens.

The material specifications or the standards for the diagnostic test methods will contain all necessary instructions for the preparation of specimens.

The thickness of specimens is, in some cases, specified in the list of property measurements for the determination of thermal endurance. See IEC 60216-2. If not, the thickness shall be reported. Some physical properties are sensitive even to minor variations of specimen thickness. In such cases, the thickness after each ageing period may need to be determined and reported if required in the relevant specification.

The thickness is also important because the rate of ageing may vary with thickness. Ageing data of materials with different thicknesses are not always comparable. Consequently, a material may be assigned more than one thermal endurance characteristic derived from the measurement of properties at different thicknesses.

The tolerances of specimen dimensions should be the same as those normally used for general testing. Where specimen dimensions need smaller tolerances than those normally used, these special tolerances should be given.

Screening measurements ensure that specimens are of uniform quality and typical of the material to be tested.

5.3.2 Number of specimens

The accuracy of endurance test results depends largely on the number of specimens aged at each temperature.

The total number of specimens (N) is derived as follows:

$$N = a \times b \times c + d$$

where

- a is the number of specimens in a test group undergoing identical treatment at one temperature and discarded after determination of the property (usually five);
- b is the number of treatments, i.e. total number of exposure temperatures, at one time;
- c is the number of ageing time levels;
- d is the number of specimens in the group used to establish the initial value of the property. Normal practice is to select $d = 2a$ when the diagnostic criterion is a percentage change of the property from its initial level. When the criterion is an absolute property level, d is usually given the value of zero, unless reporting of the initial value is required.

Il est de bon usage de préparer des éprouvettes supplémentaires, ou au moins de fournir une réserve du lot de matériau original à partir duquel de telles éprouvettes pourraient être préparées par la suite. De cette façon, en cas de complications imprévues, toute demande de vieillissement d'éprouvettes supplémentaires introduira un risque minimal de production de différences systématiques entre les groupes d'éprouvettes. De telles complications pourraient survenir, par exemple, si la relation d'endurance thermique devient non linéaire, ou si les éprouvettes sont perdues à cause d'un emballement thermique d'une étuve.

5.4 Essais de diagnostic

Si les spécifications de matériau CEI sont disponibles, les exigences de propriétés en termes de limites inférieures de valeurs de TI acceptables sont généralement données. Si de telles spécifications de matériau ne sont pas disponibles, une sélection des propriétés et méthodes d'évaluation d'endurance thermique est donnée dans la CEI 60216-2.

Si une telle méthode ne peut pas être trouvée, une norme internationale, nationale ou institutionnelle ou bien une méthode spécialement conçue peut être utilisée dans cet ordre de préférence. Dans ce cas, l'essai de diagnostic doit être noté dans le rapport, en incluant la propriété, la méthode de mesure et la fin de vie.

5.5 Choix des fins de vie

Il peut être nécessaire de caractériser l'endurance thermique des matériaux par différentes données d'endurance (dédites en utilisant différentes propriétés et/ou fins de vie), afin de faciliter le choix approprié du matériau par rapport aux applications particulières de ce matériau. Voir la CEI 60216-2.

Il existe deux façons de déterminer la fin de vie:

- a) Comme une augmentation ou une diminution du pourcentage de la valeur de propriété mesurée au niveau original. Cette approche fournira des comparaisons entre matériaux mais fournira aussi une relation plus pauvre que le point b) aux valeurs de propriété requises en service normal. Pour déterminer la valeur initiale, voir 5.6.
- b) Comme une valeur fixe de la propriété. Cette valeur peut être choisie par rapport aux exigences de service courant. Les fins de vie des essais d'épreuve sont principalement données sous la forme de valeurs fixes de la propriété.

Il est recommandé que la fin de vie soit choisie pour indiquer le degré de détérioration du matériau isolant qui a diminué sa capacité à supporter une contrainte rencontrée en service réel. Il convient que le degré de détérioration indiqué comme fin de vie de l'essai soit lié à la valeur non dangereuse admissible pour la propriété du matériau qui est souhaité en pratique.

5.6 Etablissement de valeur de propriété initiale

Choisir les éprouvettes pour la détermination de la valeur initiale de la propriété pour constituer un sous-ensemble aléatoire de celles préparées pour le vieillissement. Avant de déterminer la valeur de propriété, ces éprouvettes doivent être conditionnées par exposition au niveau de température de vieillissement de l'essai le plus bas (voir 5.2), pour une durée de deux jours (48 ± 6) h.

NOTE Dans certains cas (par exemple, éprouvettes très épaisses), des durées supérieures à deux jours peuvent être nécessaires à l'établissement d'une valeur stable.

Sauf stipulation contraire dans la méthode de détermination de la propriété de diagnostic (par exemple, parties de spécifications de matériaux traitant de méthodes d'essai, ou méthode listée dans la CEI 60216-2), la valeur initiale est la moyenne arithmétique des résultats d'essai.