

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC
216-1

Quatrième édition
Fourth edition
1990-05

**Guide pour la détermination des propriétés
d'endurance thermique
de matériaux isolants électriques**

Première partie:

Guide général relatif aux méthodes
de vieillissement et à l'évaluation
des résultats d'essai

**Guide for the determination of thermal
endurance properties of
electrical insulating materials**

Part 1:

General guidelines for ageing procedures and
evaluation of test results



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 216-1: 1990



Documents
Document Sharing Hub

Validité de la présente publication

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 la date de reconfirmation de la publication sont disponibles auprès du Bureau Central de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

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

Symboles graphiques et littéraux

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

- la CEI 27: *Symboles littéraux à utiliser en électro-technique;*
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles;*
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas;*

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale.*

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

Validity 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 relating to the date of the reconfirmation of the publication is available from the IEC Central Office.

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

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

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 publications:

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology;*
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets;*
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams;*

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice.*

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, 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 end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC
216-1

Quatrième édition
Fourth edition
1990-05

**Guide pour la détermination des propriétés
d'endurance thermique
de matériaux isolants électriques**

Première partie:

Guide général relatif aux méthodes
de vieillissement et à l'évaluation
des résultats d'essai

**Guide for the determination of thermal
endurance properties of
electrical insulating materials**

Part 1:

General guidelines for ageing procedures and
evaluation of test results

© CEI 1990 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.

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

U

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

Documents

Document Sharing Hub



SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
INTRODUCTION	6

SECTION UN — GÉNÉRALITÉS

Articles

1. Domaine d'application	8
2. Considérations générales	8
3. Principes d'évaluation et définitions	10
4. Choix des méthodes d'essai — Instructions générales	12
4.1 Considérations générales	12
4.2 Instructions spécifiques pour la détermination de l'IT	12
4.3 Instructions spécifiques pour la détermination de l'IRT	12

SECTION DEUX — MÉTHODES EXPÉRIMENTALES

5. Choix des points limites	14
6. Préparation des éprouvettes d'essai	14
7. Détermination de la valeur initiale de la propriété et nombre d'éprouvettes	16
7.1 Détermination de la valeur initiale de la propriété	16
7.2 Nombre d'éprouvettes pour des critères d'essai destructif	16
7.3 Nombre d'éprouvettes pour des critères d'épreuve	18
7.4 Nombre d'éprouvettes pour des critères d'essai non destructif	18
8. Températures et durées d'exposition	18
9. Etuves de vieillissement	22
10. Conditionnement en environnement	22
10.1 Conditions atmosphériques au cours du vieillissement	22
11. Mode opératoire	22
11.1 Méthode utilisant une épreuve	24
11.2 Méthode utilisant un essai non destructif	24
11.3 Méthode utilisant un essai destructif	26

SECTION TROIS — EVALUATION

12. Analyse des résultats d'essai et détermination des caractéristiques d'endurance thermique	26
12.1 Caractéristiques d'endurance thermique	28
12.2 Evaluation numérique de l'IT	28
12.3 Détermination du temps pour atteindre le point limite à chaque température	30
12.4 Tracé du graphique d'endurance thermique	32
12.5 Evaluation statistique des résultats d'essai	32
12.6 Evaluation graphique de l'IT	32
12.7 Détermination de l'indice relatif de température	32
13. Traitement et présentation de résultats d'essai ne satisfaisant pas aux exigences statistiques	34
14. Procès-verbal d'essai	34
TABLEAU I	38
FIGURES	40
ANNEXE A — Notes sur les mécanismes de dégradation thermique	44
ANNEXE B — Intervalle de division par deux	46
ANNEXE C — Dispersion et défaut de linéarité	48
ANNEXE D — Profil d'endurance thermique (PET)	50

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
INTRODUCTION	7

SECTION ONE — GENERAL

Clause		9
1. Scope		9
2. General considerations		11
3. Principles of evaluation and definitions		13
4. Selection of test procedures – General guidelines		13
4.1 General considerations		13
4.2 Specific instructions for determination of TI		13
4.3 Specific instructions for determination of RTI		13

SECTION TWO — EXPERIMENTAL PROCEDURES

5. Selection of end-points	15
6. Preparation of test specimens	15
7. Establishment of initial property value and number of test specimens	17
7.1 Establishment of initial property value	17
7.2 Number of specimens for destructive test criteria	17
7.3 Number of specimens for proof test criteria	19
7.4 Number of specimens for non-destructive test criteria	19
8. Exposure temperatures and times	19
9. Ageing ovens	23
10. Environmental conditioning	23
10.1 Atmospheric conditions during ageing	23
11. Procedure	23
11.1 Procedure using a proof test	25
11.2 Procedure using a non-destructive test	25
11.3 Procedure using a destructive test	27

SECTION THREE — EVALUATION

12. Analysis of test results and determination of thermal endurance characteristics	27
12.1 Thermal endurance characteristics	29
12.2 Numerical evaluation of TI	29
12.3 Determination of the time to reach the end-point criterion at each temperature	31
12.4 Drawing the thermal endurance graph	33
12.5 Statistical evaluation of test data	33
12.6 Graphical evaluation of TI	33
12.7 Determination of the relative temperature index	33
13. Treatment and presentation of test data which fail to satisfy the statistical requirements	35
14. Test report	35
TABLE I	39
FIGURES	40
APPENDIX A — Notes on mechanisms of thermal degradation	45
APPENDIX B — The halving interval	47
APPENDIX C — Dispersion and non-linearity	49
APPENDIX D — The thermal endurance profile (TEP)	51

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

GUIDE POUR LA DÉTERMINATION DES PROPRIÉTÉS D'ENDURANCE THERMIQUE DE MATÉRIAUX ISOLANTS ÉLECTRIQUES

Première partie: Guide général relatif aux méthodes de vieillissement et à l'évaluation des résultats d'essai

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la C E I 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 C E I exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la C E I, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la C E I et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

PRÉFACE

La présente norme a été établie par le Sous-Comité 15B: Essais d'endurance, du Comité d'Etudes n° 15 de la C E I: Matériaux isolants.

Elle remplace la troisième édition, parue en 1987.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapports de vote	Procédure des Deux Mois	Rapports de vote
15B(BC)62 15B(BC)62A	15B(BC)69 15B(BC)69A	15B(BC)80 et 80A	15B(BC)85

Les rapports de vote indiqués dans le tableau ci-dessus donnent toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Les publications suivantes de la C E I sont citées dans la présente norme:

Publications n°s:	85 (1984):	Evaluation et classification thermiques de l'isolation électrique.
	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.
	216-2 (1990):	Deuxième partie: Choix des critères d'essai.
	216-3:	Troisième partie: Instructions pour le calcul des caractéristiques d'endurance thermique.
	216-3-1 (1990):	Section un – Calculs basés sur les valeurs moyennes des résultats complets normalement distribués.
	216-3-2 (xxx):	Section deux – Procédures de calcul pour les résultats normalement distribués provenant d'essais destructifs (à l'étude).
	216-3-3 (xxx):	Section trois – Calculs applicables aux résultats incomplets. Résultats des essais d'épreuve de durée inférieure ou égale au temps médian pour atteindre le point limite (groupes d'essais égaux) (à l'étude).
	216-3-4 (xxx):	Section quatre – Calculs applicables aux indices relatifs de température (à l'étude).
	216-4:	Quatrième partie: Etuves de vieillissement.
	216-4-1 (1990):	Section un – Etuves à une seule chambre.
	216-5 (1990):	Cinquième partie: Guide pour l'utilisation des caractéristiques d'endurance thermique.
	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.
	505 (1975):	Guide pour l'évaluation et l'identification des systèmes d'isolation du matériel électrique.
	611 (1978):	Guide pour la préparation de procédures d'essai pour l'évaluation de l'endurance thermique des systèmes d'isolation électrique.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

GUIDE FOR THE DETERMINATION OF THERMAL ENDURANCE PROPERTIES OF ELECTRICAL INSULATING MATERIALS

Part 1: General guidelines for ageing procedures and evaluation of test results

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on 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.

PREFACE

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

It replaces the third edition, published in 1987.

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

Six Months' Rule	Reports on Voting	Two Months' Procedure	Reports on Voting
15B(CO)62 15B(CO)62A	15B(CO)69 15B(CO)69A	15B(CO)80 and 80A	15B(CO)85

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

The following IEC publications are quoted in this standard:

- Publications Nos.: 85 (1984): Thermal Evaluation and Classification of Electrical Insulation.
 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.
 216-2 (1990): Part 2: Choice of test criteria.
 216-3: Part 3: Instructions for calculating thermal endurance characteristics.
 216-3-1 (1990): Section One – Calculations using mean values of normally distributed complete data.
 216-3-2 (xxx): Section Two – Calculation procedures for normally distributed results from destructive test procedures (Under consideration).
 216-3-3 (xxx): Section Three – Calculations for incomplete data: proof test results up to and including the median time to end-point (equal test groups) (Under consideration).
 216-3-4 (xxx): Section Four – Calculations for relative temperature indices (Under consideration).
 216-4: Part 4: Ageing ovens.
 216-4-1 (1990): Section One – Single-chamber ovens.
 216-5 (1990): Part 5: Guidelines for the application of thermal endurance characteristics.
 493: Guide for the Statistical Analysis of Ageing Test Data.
 493-1 (1974): Part 1: Methods based on mean values of normally distributed test result.
 505 (1975): Guide for the Evaluation and Identification of Insulation Systems of Electrical Equipment.
 611 (1978): Guide for the Preparation of Test Procedures for Evaluating the Thermal Endurance of Electrical Insulation Systems.

GUIDE POUR LA DÉTERMINATION DES PROPRIÉTÉS D'ENDURANCE THERMIQUE DE MATÉRIAUX ISOLANTS ÉLECTRIQUES

Première partie: Guide général relatif aux méthodes de vieillissement et à l'évaluation des résultats d'essai

INTRODUCTION

Les méthodes de la C E I relatives à la détermination et à l'expression de l'endurance thermique des matériaux isolants électriques mettent en évidence une nette tendance qui peut se résumer comme suit:

- En raison de l'évolution rapide de la technologie des polymères et de l'isolation électrique, l'établissement de listes de propriétés thermiques d'un certain nombre de matériaux couramment utilisés, fondées sur l'expérience en service, n'est plus actuellement satisfaisant.
- Des méthodes d'essai ont été développées, qui permettent de vérifier la validité du modèle physique de base. Un programme complet d'essais de matériaux permet de fournir l'indice de température (IT) qui s'exprime par une valeur unique. En variante, des essais comparatifs permettent de fournir l'indice relatif de température (IRT), qui caractérise les performances du matériau en essai par comparaison à celles d'un matériau de référence. L'IRT était à l'origine fondé sur des informations provenant de l'expérience en service. Une autre particularité de l'IRT est d'améliorer la reproductibilité entre laboratoires.
- La représentation sous forme d'une valeur unique ne permet pas une description complète de la relation d'endurance thermique d'un matériau. Aussi, un indice composé appelé Profil d'Endurance Thermique (PET) a-t-il été introduit dans la deuxième édition de la Publication 216-1 de la C E I. Cela tenait compte du fait qu'à la fois la pente du graphique d'endurance thermique et le degré de confiance des résultats d'essai sont importants et utiles.
- L'incorporation d'un nombre représentant le degré de confiance statistique n'étant pas d'une importance primordiale, dans la présente édition, on a mis l'accent sur les deux indices IT et IRT tout en maintenant la vérification de la validité des résultats d'essai. La pente du graphique d'endurance thermique est maintenant explicitement donnée grâce à l'intervalle de division par deux IDC, aisément compréhensible. Cela permet de supprimer le PET.

Note. — Au sujet du Profil d'Endurance Thermique (PET) de la deuxième édition, voir annexe D de la présente publication.

La Publication 216 de la C E I comprend cinq parties:

- Première partie: Guide général relatif aux méthodes de vieillissement et à l'évaluation des résultats d'essai.
- Deuxième partie: Choix de critères d'essai.
- Troisième partie: Instructions pour le calcul des caractéristiques d'endurance thermique.
- Quatrième partie: Etuves de vieillissement.
- Cinquième partie: Guide pour l'utilisation des caractéristiques d'endurance thermique.

Les méthodes statistiques utilisées sont décrites dans la Publication 493 de la C E I.

Note. — Ce travail peut être poursuivi. En ce qui concerne les révisions et les nouvelles parties, consulter le dernier catalogue des Publications de la C E I pour avoir la liste la plus récente.

GUIDE FOR THE DETERMINATION OF THERMAL ENDURANCE PROPERTIES OF ELECTRICAL INSULATING MATERIALS

Part 1: General guidelines for ageing procedures and evaluation of test results

INTRODUCTION

I E C methods to determine and express the thermal endurance of electrical insulating materials reveal a clear trend which may be described as follows:

- The original listing of the thermal capabilities of a number of widely used materials based on service experience is no longer satisfactory due to the accelerating pace of polymer and electrical insulation technology.
- Test procedures have been developed which enable the validity of the underlying physical model to be verified. A complete test programme for materials produces the temperature index (TI) which is a one-point characteristic. Alternatively, comparative tests produce the relative temperature index (RTI) which characterizes the performance of the test material relative to that of the known reference material. RTI was originally supported by a certain input from service experience. An additional feature is to improve the reproducibility between laboratories.
- The one-point presentation does not permit a complete description of a material's thermal endurance relationship. Therefore, a composite index called the Thermal Endurance Profile (TEP) was introduced in the second edition of I E C Publication 216-1. This was done because it was recognized that both the slope of the thermal endurance graph and the confidence of the experimental test data are important and relevant.
- Since the regular inclusion of a figure representing the statistical confidence is not of major practical importance, the present edition — maintaining the verification of the confidence of the test data — emphasizes just the two indices TI and RTI. The slope of the thermal endurance graph is now explicitly given by means of the easily comprehensible halving interval (HIC). This permits the deletion of the TEP.

Note. — Regarding the Thermal Endurance Profile TEP of the Second edition, see Appendix D of this publication.

I E C Publication 216 consists of five parts:

Part 1: General guidelines for 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: Guidelines for the application of thermal endurance characteristics.

The relevant statistical methods will be found in I E C Publication 493.

Note. — This work may be continued. For revisions and new parts, see the current catalogue of I E C Publications for an up-to-date list.

SECTION UN — GÉNÉRALITÉS

1. Domaine d'application

La présente norme définit les principes de méthodes d'essai destinées à évaluer l'endurance thermique des matériaux isolants électriques et des combinaisons simples de ces matériaux; elle décrit les conditions à observer pendant les différents essais et donne les bases des méthodes d'analyse des résultats d'essai pour obtenir l'indice de température, l'indice relatif de température et l'intervalle de division par deux. On porte une attention particulière aux résultats d'essai ne répondant pas d'une manière satisfaisante aux exigences de linéarité et de dispersion de la relation d'endurance thermique.

Note. — Dans la présente norme, le terme «matériau(x) isolant(s)» signifie à la fois «matériau(x) isolant(s) et combinaison(s) simple(s) de ces matériaux».

2. Considérations générales

Les essais d'endurance thermique sont destinés à mettre en évidence la façon suivant laquelle une exposition prolongée à une température élevée produit des dégradations irréversibles des propriétés des matériaux isolants. Les propriétés essentielles sont les propriétés électriques et mécaniques dont dépend le fonctionnement de l'isolation dans les conditions réelles et qui peuvent être affectées par le vieillissement thermique.

Note. — Cependant, d'autres propriétés qui varient avec la température de façon réversible en l'absence de tout vieillissement thermique peuvent être, seules ou en association, le facteur limitatif en pratique. Dans de tels cas, on appliquera d'autres méthodes d'évaluation qui ne font pas l'objet des essais d'endurance thermique.

Dans la pratique courante, l'évaluation de l'endurance thermique des matériaux isolants s'effectue en exposant les matériaux à trois ou à plus de trois températures supérieures à l'indice de température présumé. Les résultats d'une telle exposition peuvent souvent s'exprimer par une relation linéaire (Arrhénius) entre le logarithme du temps nécessaire pour atteindre un certain degré de variation de propriété et l'inverse de la température thermodynamique (absolue). Voir l'annexe A.

Un calcul fondé sur la relation d'Arrhénius ou une estimation graphique à partir du graphique d'endurance thermique sont utilisés pour estimer les durées d'endurance à l'intérieur ou à l'extérieur de la gamme des températures d'exposition.

Dans certains cas, la relation d'endurance thermique n'est pas linéaire dans la gamme de températures considérée. Lorsque cela se produit, l'évaluation de l'endurance thermique de matériaux est encore possible, voir articles 7, 8 et 13 et l'annexe C de la présente partie.

Toutes les propriétés d'un matériau soumis au vieillissement thermique peuvent ne pas se détériorer à la même vitesse. En conséquence, à un matériau donné peuvent être attribués plusieurs indices d'endurance thermique, déduits par exemple de la mesure de différentes propriétés. Voir la Publication 216-2 de la C E I.

Bien que les caractéristiques d'endurance thermique, tout en donnant des indications sur les matériaux, ne puissent pas, à elles seules, être utilisées pour prévoir la relation entre la température et la performance d'un système d'isolation en service, une telle relation est parfois utilisée sans justification suffisante. Il est à souligner que les caractéristiques d'endurance thermique des matériaux ne devraient être reliées aux températures de fonctionnement que lorsqu'une telle relation a été établie à partir d'autres essais ou de l'expérience en service. Voir également la Publication 216-5 de la C E I et les publications suivantes:

- Publication 85 de la C E I.
- Publication 505 de la C E I.
- Publication 611 de la C E I.

SECTION ONE — GENERAL

1. Scope

This standard gives principles of test procedures to evaluate the thermal endurance of electrical insulating materials and simple combinations of such materials; it describes the conditions to be observed during the various tests and shows the basic analysis methods to derive the temperature index, the relative temperature index and the halving interval, from the test results. Attention is given to test data which do not completely satisfy the requirements of linearity and dispersion of the thermal endurance relationship.

Note. — Throughout the rest of this standard the term “insulating materials” is always taken to mean “insulating material(s) and simple combination(s) of such materials”.

2. General considerations

Thermal endurance tests serve the purpose of revealing how prolonged exposure to elevated temperature produces irreversible degradation of the properties of insulating materials. Of importance are those electrical and mechanical properties on which the appropriate functioning of the insulation in actual operation depends, and which may deteriorate due to thermal ageing.

Note. — However, other properties which change reversibly with temperature without thermal ageing may, singly or in combination, be the limiting factor in practice. In such cases other evaluation methods not within the scope of thermal endurance testing will be applied.

According to current practice, the thermal endurance of insulating materials is assessed by exposure to three or more ageing temperatures higher than the expected temperature index. The results of such exposure can often be described by a linear (Arrhenius) relationship between the logarithm of the time taken to reach a certain degree of property change and the reciprocal thermodynamic (absolute) temperature. See Appendix A.

A calculation based on the Arrhenius relationship or a graphical estimation on the thermal endurance graph is used to estimate endurance times inside or outside the range of exposure temperatures.

It sometimes happens that the thermal endurance relationship is non-linear in the temperature range of interest. If such a relationship is well established, the evaluation of the thermal capability of materials may still be possible, see Clauses 7, 8 and 13 and Appendix C of this part.

The properties of a material subjected to thermal ageing may not all deteriorate at the same rate. Consequently, a material may be assigned more than one thermal endurance index derived, for example, from the measurement of different properties. See I E C Publication 216-2.

Although thermal endurance characteristics, while giving guidance on materials, should not by themselves be taken to predict the relationship between temperature and performance of an insulation system in service, such a relationship is sometimes used without adequate justification. It is emphasized that thermal endurance characteristics of materials should only be related to operating temperatures when a relationship has been established by other tests, or service experience. See also I E C Publication 216-5 and the following publications:

- I E C Publication 85.
- I E C Publication 505.
- I E C Publication 611.

3. Principes d'évaluation et définitions

Les méthodes d'essai qui font l'objet de ce guide concernent les matériaux isolants et leurs combinaisons simples avant qu'ils n'aient été mis en œuvre dans des structures isolantes associées à des parties spécifiques de matériel électrique.

Une distinction entre ces essais de matériaux et des essais destinés à évaluer les performances de systèmes d'isolation est nécessaire pour deux raisons principales. Premièrement, les détails de l'utilisation particulière d'un matériau ne peuvent pas être connus de son fabricant. Deuxièmement, la performance d'un système d'isolation ne peut pas, en général, être déduite de celle des matériaux constitutifs.

Les méthodes d'essai qui font l'objet de ce guide fournissent, sur les caractéristiques à long terme des matériaux, des renseignements qui guident le fabricant de produits électrotechniques dans le choix des matériaux en vue d'une évaluation ou d'une application ultérieures.

Note. — Des résultats d'essai obtenus sur des matériaux bien connus et largement utilisés ont été réunis, pour servir de référence ad hoc, dans *IEEE Trans. El. Ins.* vol. EI-17 (1982) n° 1 pp. 53-63, et permettre des comparaisons entre anciens et nouveaux matériaux. De telles compilations doivent être remises à jour périodiquement.

Les définitions suivantes doivent être appliquées:

- 1) *Indice de température (IT)*
Nombre correspondant à la température, en degrés Celsius, déduite de la relation d'endurance thermique pour un temps donné, normalement égal à 20 000 h, sauf spécification contraire.
- 2) *Indice relatif de température (IRT)*
Indice de température d'un matériau en essai, obtenu à partir du temps correspondant à l'indice connu de température d'un matériau de référence, lorsque ces deux matériaux sont soumis aux mêmes modes de vieillissement et de diagnostic, dans un essai comparatif (voir figure 3).
- 3) *Intervalle de division par deux (IDC)*
Nombre correspondant à l'intervalle de température, en degrés Celsius, qui exprime la division par deux du temps pour atteindre le point limite, pris à la température de l'IT ou de l'IRT.
- 4) *Graphique d'endurance thermique* (graphique d'Arrhénius)
Graphique sur lequel le logarithme du temps pour atteindre un point limite spécifié, lors d'un essai d'endurance thermique, est porté en fonction de l'inverse de la température thermodynamique (absolue) d'essai.

La détermination de l'IDC est donnée au paragraphe 12.2. L'IDC est une mesure approchée de la pente du graphique d'endurance thermique. Voir l'annexe B.

La méthode normalisée pour l'évaluation thermique d'un matériau isolant comprend plusieurs étapes. Certaines de ces étapes diffèrent légèrement suivant que l'on cherche à déterminer l'IT ou l'IRT. Ces dernières sont repérées par un astérisque et les différences sont expliquées dans l'article auquel il est fait référence.

- a)* Préparer des éprouvettes appropriées aux mesures envisagées de la propriété. Voir articles 6 et 7.
- b)* Soumettre les groupes d'éprouvettes au vieillissement à différents niveaux fixés de températures élevées, soit de façon continue, soit de façon cyclique durant un nombre de périodes entre lesquelles les éprouvettes sont ramenées à une température normale, en général la température ambiante. Voir l'article 8.

3. Principles of evaluation and definitions

The test procedures covered by this guide apply to insulating materials and simple combinations thereof before they are fabricated into insulating structures identified with specific parts of electric equipment.

A distinction between such material tests and tests to evaluate the performance of insulation systems is necessary for two main reasons. Firstly, the details of the particular use of a material cannot be known to its manufacturer. Secondly, the performance of an insulation system cannot generally be predicted from that of its component materials.

The procedures covered by this guide produce information on the long-term characteristics of materials which provide the manufacturer of electrotechnical products with guidance for the selection of materials for further evaluation and application.

Note. — Results of tests on familiar, widely used materials are compiled for convenient reference in *IEEE Trans. El. Ins.* vol. EI-17 (1982) No. 1, pp. 53-63, so that comparisons between new and old materials can be made. Such compilations need to be updated periodically.

The following definitions shall apply:

- 1) *Temperature index (TI)*
The number corresponding to the temperature in degrees Celsius derived from the thermal endurance relationship at a given time, i.e. 20 000 h, unless otherwise specified.
- 2) *Relative temperature index (RTI)*
The temperature index of a test material obtained from the time which corresponds to the known temperature index of a reference material when both materials are subjected to the same ageing and diagnostic procedures in a comparative test (see Figure 3).
- 3) *Halving interval (HIC)*
The number corresponding to the temperature interval in degrees Celsius which expresses the halving of the time to end-point taken at the temperature of the TI or the RTI.
- 4) *Thermal endurance graph (Arrhenius graph)*
A graph in which the logarithm of time to reach a specified end-point in a thermal endurance test is plotted versus the reciprocal thermodynamic (absolute) test temperature.

The derivation of HIC is given in Sub-clause 12.2. HIC is an approximate measure of the slope of the thermal endurance graph. See Appendix B.

The standardized procedure for the thermal evaluation of an insulating material consists of a sequence of steps. Some of these steps are slightly different depending on whether TI or RTI is to be determined. These steps are marked with an asterisk and the differences are explained in the clause to which reference is made.

- a)* Preparing suitable specimens appropriate for the intended property measurements. See Clauses 6 and 7.
- b)* Subjecting groups of specimens to ageing at several fixed levels of elevated temperature, either continuously or cyclically for a number of periods between which the specimens are normally returned to a standard temperature, usually room temperature. See Clause 8.

- c) Soumettre les éprouvettes à une méthode de diagnostic pour révéler le degré de vieillissement. Les méthodes de diagnostic peuvent être des déterminations destructives ou non destructives d'une propriété, ou encore des épreuves potentiellement destructives. Voir l'article 5.
- d) Poursuivre l'exposition continue ou cyclique à la chaleur jusqu'à ce que soit atteint le point limite spécifié, c'est-à-dire la défaillance d'éprouvettes ou un degré donné de changement de la propriété mesurée. Voir les articles 5 et 8.
- e) Présenter les résultats d'essai d'une façon qui dépend du mode de vieillissement (continu ou cyclique) et de la méthode de diagnostic (voir point c)) : courbes de vieillissement, ou temps ou nombre de cycles pour atteindre le point limite pour chaque éprouvette. Voir le paragraphe 12.3.
- f)* Evaluer numériquement ces résultats et les présenter graphiquement conformément aux articles 12 et 13.
- g)* Exprimer l'information complète sous une forme numérique abrégée, comme décrit à l'article 12, au moyen de l'indice de température et de l'intervalle de division par deux, ou de l'indice relatif de température et de l'intervalle de division par deux.

Des exemples résumés de méthodes d'essai complètes avec des critères d'épreuve ou des critères d'essais non destructifs et destructifs sont décrits à l'article 11.

4. Choix des méthodes d'essai — Instructions générales

4.1 Considérations générales

Chaque méthode d'essai doit préciser la forme, les dimensions et le nombre des éprouvettes d'essai, les températures et durées d'exposition, les propriétés auxquelles se rapportent l'IT ou l'IRT, les méthodes utilisées pour leur détermination, les points limites et le mode de détermination des caractéristiques d'endurance thermique à partir des résultats expérimentaux.

Il convient que la propriété choisie soit aussi représentative que possible de la fonction du matériau dans une utilisation pratique, particulièrement en ce qui concerne la détermination de l'IRT. On trouve un choix de propriétés dans la Publication 216-2 de la C E I.

Pour que les conditions soient uniformes, il peut être nécessaire de spécifier le conditionnement des éprouvettes à la sortie de l'étuve avant la mesure.

4.2 Instructions spécifiques pour la détermination de l'IT

Lorsque des spécifications C E I de matériaux existent, les exigences sur la propriété sont en général exprimées en termes de valeurs limites de l'IT. Si ces spécifications de matériaux n'existent pas, on trouvera dans la Publication 216-2 de la C E I une sélection de propriétés et de méthodes pour l'évaluation de l'endurance thermique. (S'il n'existe pas de telles méthodes, on peut utiliser par ordre de préférence soit une norme nationale ou une norme d'organisme, soit une méthode spécialement développée à cette occasion.)

4.3 Instructions spécifiques pour la détermination de l'IRT

Pour la détermination de l'IRT, le matériau de référence choisi, son endurance thermique et le mode de détermination de celle-ci sont d'une importance primordiale.

Le matériau de référence doit avoir un passé satisfaisant en service. Il doit être du même type que le matériau en essai (même numéro de publication que la spécification C E I du matériau isolant, ou même groupe de matériau dans la Publication 216-2 de la C E I, tableau I). Il doit avoir un indice de température connu pour une propriété et pour un point

- c) Subjecting specimens to a diagnostic procedure in order to reveal the degree of ageing. Diagnostic procedures may be non-destructive or destructive determinations of a property, or potentially destructive proof tests. See Clause 5.
- d) Continuing the steady heat exposure or the thermal cycling until the specified end-point, i.e. failure of specimens or a specified degree of change in the measured property, is reached. See Clauses 5 and 8.
- e) Reporting the test results in a way depending on the kind of ageing procedure (continuous or cyclic) and diagnostic procedure (see under Item c)): ageing curves, or time or number of cycles to reach the end-point, for each specimen. See Sub-clause 12.3.
- f)* Evaluating these data numerically and presenting them graphically as explained in Clauses 12 and 13.
- g)* Expressing the complete information in abbreviated numerical form as described in Clause 12 by means of the temperature index and halving interval, or the relative temperature index and halving interval.

Condensed examples of complete test procedures with proof test, non-destructive and destructive criteria are given in Clause 11.

4. Selection of test procedures — General guidelines

4.1 General considerations

Each test procedure should specify the shape, dimensions and number of the test specimens, the temperatures and times of exposure, the properties to which TI or RTI is related, the methods of their determination, their end-points, and the derivation of the thermal endurance characteristics from the experimental data.

The chosen property should reflect in a significant fashion — if possible — a function of the material in practical use, especially when deriving RTI. A choice of properties is given in IEC Publication 216-2.

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

4.2 Specific instructions for determination of TI

If IEC material specifications are available, property requirements in terms of limiting TI values are usually given. If such material specifications are not available, a selection of properties and methods for the evaluation of thermal endurance is given in IEC Publication 216-2. (If no such method exists, a national or institution standard or a specially devised method should be used, and in that order of preference.)

4.3 Specific instructions for determination of RTI

For determination of RTI the chosen reference material, its thermal endurance and the way it is determined are of central importance.

The reference material shall have a history of satisfactory service. It shall be of the same type as the test material (same publication number of the IEC insulating material specification, or same material group in IEC Publication 216-2, Table I). It shall have a known temperature index for a property and end-point which are essentially the same or at least

limite qui soient essentiellement les mêmes ou du moins raisonnablement semblables à ceux qui sont utilisés pour l'essai de l'IRT. L'IT et l'IDC du matériau de référence doivent avoir à peu près les mêmes valeurs que celles présumées du matériau en essai dans l'essai de l'IRT.

SECTION DEUX — MÉTHODES EXPÉRIMENTALES

5. Choix des points limites

L'endurance thermique des matériaux doit être caractérisée par différents résultats d'endurance dépendant de la propriété et du point limite choisis, de façon à faciliter la sélection appropriée du matériau en fonction de son application particulière dans un système d'isolation. Voir la Publication 216-5 de la C E I.

Il y a deux façons différentes de définir le point limite:

- a) comme un pourcentage d'augmentation ou de diminution de la valeur mesurée, à partir du niveau initial. Cette approche fournit des comparaisons entre matériaux, mais présente une relation plus médiocre que celle du point b) avec les valeurs de la propriété requises en service normal. La valeur absolue de la valeur initiale doit être notée. Pour la détermination de celle-ci, voir l'article 7.
- b) comme une valeur fixe de la propriété. Cette valeur peut être choisie en fonction des exigences habituelles en service. Les points limites des épreuves (vieillessement cyclique) sont généralement donnés sous forme de valeurs fixes de la propriété.

Il convient de choisir le point limite de façon à mettre en évidence un degré de détérioration du matériau isolant ayant réduit son aptitude à supporter une contrainte rencontrée en service réel dans un système d'isolation. Le degré de dégradation caractérisé par le point limite de l'essai doit être en rapport avec la valeur de sécurité admissible pour la propriété du matériau souhaitée en pratique.

6. Préparation des éprouvettes d'essai

Les éprouvettes utilisées pour les essais de vieillissement doivent constituer un échantillon prélevé au hasard dans la population étudiée et doivent être traitées uniformément.

On trouve dans les spécifications de matériaux ou dans les normes internationales d'essai toutes les instructions nécessaires pour la préparation des éprouvettes.

L'épaisseur des éprouvettes est parfois spécifiée dans la liste des mesures des propriétés pour la détermination de l'endurance thermique. Voir la Publication 216-2 de la C E I. Si ce n'est pas le cas, l'épaisseur doit être notée. Certaines propriétés physiques (par exemple contrainte de flexion) sont sensibles aux moindres variations d'épaisseur de l'éprouvette. Il peut être nécessaire, dans ce cas, de déterminer et de noter l'épaisseur après chaque période de vieillissement, si cela est requis dans la spécification particulière.

L'épaisseur est importante aussi parce que la vitesse de vieillissement varie avec elle. Les résultats de vieillissement obtenus sur des matériaux d'épaisseur différente ne sont pas toujours comparables. Par conséquent, on peut affecter à un matériau plusieurs caractéristiques d'endurance thermique obtenues à partir de la mesure des propriétés à différentes épaisseurs.

Les tolérances sur les dimensions des éprouvettes doivent être les mêmes que celles qui sont utilisées normalement pour des essais généraux; lorsque les dimensions des éprouvettes exigent des tolérances plus serrées que celles qui sont utilisées normalement, ces tolérances spéciales doivent être indiquées. Des essais de criblage permettent de s'assurer que les éprouvettes sont de qualité uniforme et représentatives du matériau à essayer.

reasonably similar to those to be employed in the RTI test. The TI and HIC of the reference material should be approximately the same as the values expected for the test material in the RTI test.

SECTION TWO — EXPERIMENTAL PROCEDURES

5. Selection of end-points

The thermal endurance of materials needs to be characterized by different endurance data dependent on the chosen property and selected end-point, in order to facilitate the adequate selection of the material in respect of its particular application in an insulation system. See I E C Publication 216-5.

There are two alternative ways in which the end-point may be defined:

- a) as a percentage increase or decrease in the measured value from the original level. This approach will provide comparisons among materials but bears a poorer relationship than Item b) to the property values required in normal service. The absolute value of the original value shall be reported. For its determination, see Clause 7.
- b) as a fixed value of the property. This value might be selected with respect to usual service requirements. End-points of proof tests (cyclic ageing) are predominantly given in the form of fixed values of the property.

The end-point should be selected to indicate a degree of deterioration of the insulating material which has reduced its ability to withstand a stress encountered in actual service in an insulation system. The degree of degradation indicated as the end-point of the test should be related to the allowable safe value for the material property which is desired in practice.

6. Preparation of test specimens

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

The material specifications or the international test standards 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 I E C Publication 216-2. If not, the thickness shall be reported. Some physical properties (for example, flexural strength) 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 will 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.