NORME INTERNATIONALE

INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
60216-1

Cinquième édition
Fifth edition
2001-07

Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique –

Partie 1: Méthodes de vieillissement et évaluation des résultats d'essai

Electrical insulating materials – Properties of thermal endurance –

Part 1: Ageing procedures and evaluation of test results



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60216-1:2001

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

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/catlg-f.htm) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.
- **IEC Just Published**

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

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

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

Publication numbering

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

Consolidated editions

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

Further information on IEC publications

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

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

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

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

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

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

.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

NORME INTERNATIONALE

INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
60216-1

Cinquième édition
Fifth edition
2001-07

Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique –

Partie 1: Méthodes de vieillissement et évaluation des résultats d'essai

Electrical insulating materials – Properties of thermal endurance –

Part 1: Ageing procedures and evaluation of test results

© IEC 2001 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 Geneva, Switzerland
Telefax: +41 22 919 0300 e-mail: inmail@iec.ch IEC web site http://www.iec.ch

Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE W

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

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS

Not for Resale

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 6
INTRODUCTION 10

1 Domaine d'application 14
2 Références normatives 14
3 Termes, définitions, symboles et abréviations 16
3.1 Termes et définitions 16
3.2 Symboles et abréviations 20
4 Résumés des méthodes 22
4.1 Méthodes d'évaluation complète 22
4.2 Méthodes d'évaluation simplifiées et graphiques 22
5 Méthodes expérimentales détaillées 24
5.1 Choix des méthodes d'essai 24
5.1.1 Considérations générales 24
5.1.2 Instructions particulières pour la détermination de l'indice de température 24
5.1.3 Détermination de l'indice de température pour des temps autres que 20 000 h 24
5.2 Choix des points limites 24
5.3 Préparation et nombre d'éprouvettes 26
5.3.1 Préparation 26
5.3.2 Nombre d'éprouvettes 26
5.4 Détermination de la valeur de la propriété initiale 28
5.5 Températures et temps d'exposition 28
5.6 Etuves de vieillissement 30
5.7 Conditions d'environnement 30
5.7.1 Conditions atmosphériques pendant le vieillissement 30
5.7.2 Conditions pour la mesure des propriétés 30
5.8 Méthode de vieillissement 32
5.8.1 Méthode utilisant un essai non destructif 32
5.8.2 Méthode utilisant un essai d'épreuve 32
5.8.3 Méthode utilisant un essai destructif 34
6 Evaluation 34
6.1 Analyse numérique des données d'essai 34
6.2 Caractéristiques d'endurance thermique et formats 34
6.3 Temps jusqu'au point limite, valeurs de x et de y 36
6.3.1 Essais non destructifs 36
6.3.2 Essais d'épreuve 38
6.3.3 Essais destructifs 38
6.4 Moyennes et variances 38
6.4.1 Données complètes 38
6.4.2 Données incomplètes (censurées) 40

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---
Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

CONTENTS

FOREWORD 7
INTRODUCTION 11

1 Scope 15
2 Normative references 15
3 Terms, definitions, symbols and abbreviated terms 17
3.1 Terms and definitions 17
3.2 Symbols and abbreviated terms 21
4 Synopsis of procedures 23
4.1 Full procedures 23
4.2 Simplified numerical and graphical evaluation procedures 23
5 Detailed experimental procedures 25
5.1 Selection of test procedures 25
5.1.1 General considerations 25
5.1.2 Specific instructions for determination of TI 25
5.1.3 Determination of TI for times other than 20 000 h 25
5.2 Selection of end-points 25
5.3 Preparation and number of test specimens 27
5.3.1 Preparation 27
5.3.2 Number of specimens 27
5.4 Establishment of initial property value 29
5.5 Exposure temperatures and times 29
5.6 Ageing ovens 31
5.7 Environmental conditions 31
5.7.1 Atmospheric conditions during ageing 31
5.7.2 Conditions for property measurement 31
5.8 Procedure for ageing 33
5.8.1 Procedure using a non-destructive test 33
5.8.2 Procedure using a proof test 33
5.8.3 Procedure using a destructive test 35
6 Evaluation 35
6.1 Numerical analysis of test data 35
6.2 Thermal endurance characteristics and formats 35
6.3 Times to end-point, x- and y-values 37
6.3.1 Non-destructive tests 37
6.3.2 Proof tests 39
6.3.3 Destructive tests 39
6.4 Means and variances 39
6.4.1 Complete data 39
6.4.2 Incomplete (censored) data 41

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

6.5 Généralités sur les moyennes et les variances, et analyse de régression 40
6.6 Essais statistiques et exigences concernant les données..... 40
6.6.1 Données de tous types..... 40
6.6.2 Essais d'épreuve..... 42
6.6.3 Essais destructifs..... 42
6.7 Graphique et caractéristiques d'endurance thermique..... 44
6.8 Rapport d'essai..... 44
7 Méthodes simplifiées 46
7.1 Description sommaire des méthodes..... 46
7.2 Méthodes expérimentales 46
7.2.1 Choix de l'essai de diagnostic..... 46
7.2.2 Choix du point limite 46
7.2.3 Eprouvettes..... 46
7.3 Températures d'exposition..... 48
7.4 Etuves de vieillissement..... 48
7.5 Méthodes..... 48
7.5.1 Valeurs initiales de la propriété..... 48
7.5.2 Méthodes de vieillissement 50
7.6 Méthodes de calculs simplifiés..... 50
7.6.1 Temps jusqu'au point limite..... 50
7.6.2 Calcul de la droite de régression..... 50
7.6.3 Calcul des écarts de linéarité 52
7.6.4 Indice de température et intervalle de division par deux 54
7.6.5 Validité des calculs simplifiés..... 54
7.6.6 Rapport d'essai..... 54

Annexe A (informative) Dispersion et non-linéarité 66
Annexe B (informative) Température et temps d'exposition 70
Annexe C (informative) Concepts existant dans les éditions précédentes..... 76

Figure 1 – Variation de la propriété – Détermination du temps jusqu'au point limite pour chaque température (essais destructif et non destructif)..... 58
Figure 2 – Estimations des temps jusqu'au point limite – Valeur de la propriété (en ordonnée, unités quelconques) en fonction du temps (en abscisse, échelle logarithmique, unités quelconques) 60
Figure 3 – Essais destructifs – Estimation du temps jusqu'au point limite 62
Figure 4 – Graphique d'endurance thermique..... 64
Figure C.1 – Indice relatif de température 78

Tableau 1 – Températures et durée d'exposition suggérées..... 56
Tableau B.1 – Groupes 74

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

6.5 General means and variances and regression analysis 41
6.6 Statistical tests and data requirements 41
6.6.1 Data of all types 41
6.6.2 Proof tests 43
6.6.3 Destructive tests 43
6.7 Thermal endurance graph and thermal endurance characteristics 45
6.8 Test report 45
7 Simplified procedures 47
7.1 Outline description of procedures 47
7.2 Experimental procedures 47
7.2.1 Choice of diagnostic test 47
7.2.2 Choice of end-point 47
7.2.3 Test specimens 47
7.3 Exposure temperatures 49
7.4 Ageing ovens 49
7.5 Procedure 49
7.5.1 Initial property values 49
7.5.2 Ageing procedure 51
7.6 Simplified calculation procedures 51
7.6.1 Times to end-point 51
7.6.2 Calculation of the regression line 51
7.6.3 Calculation of deviation from linearity 53
7.6.4 Temperature index and halving interval 55
7.6.5 Validity of simplified calculations 55
7.6.6 Test report 55

Annex A (informative) Dispersion and non-linearity 67
Annex B (informative) Exposure temperatures and times 71
Annex C (informative) Concepts in earlier editions 77

Figure 1 – Property variation – Determination of time to end-point at each temperature (destructive and non-destructive tests) 59
Figure 2 – Estimation of times to end-point – Property value (ordinate, arbitrary units) versus time (abscissa, log scale, arbitrary units) 61
Figure 3 – Destructive tests – Estimation of time to end-point 63
Figure 4 – Thermal endurance graph 65
Figure C.1 – Relative temperature index 79

Table 1 – Suggested exposure temperatures and times 57
Table B.1 – Groups 75

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

MATÉRIAUX ISOLANTS ÉLECTRIQUES – PROPRIÉTÉS D'ENDURANCE THERMIQUE –

Partie 1: Méthodes de vieillissement et évaluation des résultats d'essai

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 60216-1 a été établie par le sous-comité 15E: Méthodes d'essais, du comité d'études 15 de la CEI: Matériaux isolants.

Cette cinquième édition annule et remplace la quatrième édition parue en 1990 et constitue une révision technique.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
15E/153/FDIS	15E/155/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 3.

Les normes futures de cette série porteront dorénavant le nouveau titre général cité ci-dessus. Le titre des normes existant déjà dans cette série sera mis à jour lors d'une prochaine édition.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ELECTRICAL INSULATING MATERIALS – PROPERTIES OF THERMAL ENDURANCE –

Part 1: Ageing procedures and evaluation of test results

FOREWORD

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

International Standard IEC 60216-1 has been prepared by subcommittee 15E: Methods of test, of IEC technical committee 15: Insulating materials.

This fifth edition cancels and replaces the fourth edition published in 1990 and constitutes a technical revision.

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

FDIS	Report on voting
15E/153/FDIS	15E/155/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 3.

Future standards in this series will carry the new general title as cited above. Titles of existing standards in this series will be updated at the time of the next revision.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Les annexes A, B et C sont données uniquement à titre d'information.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2006. A cette date, la publication sera

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

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Annexes A, B and C are for information only.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2006. At this date, the publication will be

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

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

INTRODUCTION

Le relevé des propriétés thermiques des matériaux isolants électriques, fondé sur l'expérience en service, s'est révélé irréaliste en raison de l'évolution rapide de la technologie des polymères et de l'isolation électrique, et du temps nécessaire pour acquérir l'expérience en service appropriée. Des méthodes de vieillissement accéléré et d'essai étaient par conséquent nécessaires afin d'obtenir l'information requise. La série 60216 a été développée pour formaliser ces méthodes et pour interpréter leurs résultats.

Les processus de vieillissement proposés comme relevant de modèles physicochimiques ont conduit à décrire la vitesse de vieillissement selon les hypothèses presque universelles des équations d'Arrhenius. Il en est ressorti le concept de l'indice de température (IT) comme point caractéristique unique basé sur des données de vieillissement accéléré. Cet indice est une valeur numérique de la température en °C pour laquelle le temps mis pour que la détérioration d'une propriété sélectionnée atteigne un point limite est défini (généralement 20 000 h).

NOTE Le terme «Arrhenius» est largement utilisé (et compris) pour indiquer qu'il existe une relation linéaire entre le logarithme d'un temps et l'inverse de la température thermodynamique (absolue ou kelvin). L'utilisation correcte se limite à une telle relation existant entre une vitesse de réaction constante et la température thermodynamique. L'utilisation habituelle est celle qui est retenue tout au long de cette norme.

La grande dispersion statistique des données d'essai qui a été constatée, en même temps que la fréquente apparition d'écarts substantiels par rapport au comportement idéal a démontré qu'il était nécessaire d'effectuer des essais pour établir la validité du modèle physico-chimique de base. L'application des essais statistiques conventionnels comme ceux qui sont établis dans la CEI 60493 a satisfait à cette exigence, conduisant à la «limite de confiance» (TC) de l'indice IT. Mais on a considéré qu'un seul point unique IT était inadapté à la description des possibilités des matériaux. Ceci a conduit au concept du «profil d'endurance thermique» (PET) indiqué dans la deuxième édition de cette partie de la CEI 60216, incorporant l'indice de température, ses variations selon la durée de vieillissement spécifiée, ainsi qu'une limite de confiance.

Un facteur de complication réside dans le fait que les propriétés d'un matériau soumis au vieillissement thermique peuvent ne pas toutes se détériorer à la même vitesse, et que différents points limites peuvent être pertinents pour différentes applications. Par conséquent, ce matériau peut correspondre à plus d'un indice de température résultant, par exemple, des mesures des différentes propriétés et de l'utilisation de différents points limites.

Un complément utile à la norme a été l'indice relatif de température (IRT), obtenu par vieillissement simultané d'un matériau de référence connu avec le matériau d'essai, en éliminant certaines les incertitudes associées, par exemple, à la commande en température des étuves.

On a constaté par la suite que l'indice statistique de confiance inclus dans le profil d'endurance thermique (PET) n'était pas largement compris et utilisé. Cependant, on a considéré comme essentiels les essais statistiques, en particulier après quelques modifications mineures destinées à les rendre plus adaptés à la pratique. Le concept de l'intervalle de division par deux (IDC) a été introduit pour indiquer la vitesse des modifications du temps de vieillissement en fonction de la température. Le profil PET a alors été abandonné, en même temps que l'indice IT et l'intervalle IDC étaient pris en compte, de façon à indiquer si les essais statistiques étaient ou non totalement satisfaits. En même temps, les méthodes de calcul ont été rendues plus compréhensibles, permettant pleinement le traitement statistique des données obtenues à partir de propriétés de diagnostic de n'importe quel type, y compris le cas particulier des données partiellement incomplètes. Les méthodes de calcul (à ce jour plutôt complexes) ont été rendues plus acceptables grâce à l'utilisation de programmes informatiques adaptés aux ordinateurs personnels peu coûteux.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

INTRODUCTION

The listing of the thermal capabilities of electrical insulating materials, based on service experience, was found to be impractical, owing to the rapid development of polymer and insulation technologies and the long time necessary to acquire appropriate service experience. Accelerated ageing and test procedures were therefore required to obtain the necessary information. The IEC 60216 series has been developed to formalize these procedures and the interpretation of their results.

Physico-chemical models postulated for the ageing processes led to the almost universal assumption of the Arrhenius equations to describe the rate of ageing. Out of this arose the concept of the temperature index (TI) as a single-point characteristic based upon accelerated ageing data. This is the numerical value of the temperature in °C at which the time taken for deterioration of a selected property to reach an accepted end-point is that specified (usually 20 000 h).

NOTE The term Arrhenius is widely used (and understood) to indicate a linear relationship between the logarithm of a time and the reciprocal of the thermodynamic (absolute or kelvin) temperature. The correct usage is restricted to such a relationship between a reaction rate constant and the thermodynamic temperature. The common usage is employed throughout this standard.

The large statistical scatter of test data which was found, together with the frequent occurrence of substantial deviations from the ideal behaviour, demonstrated the need for tests to assess the validity of the basic physico-chemical model. The application of conventional statistical tests, as set out in IEC 60493, fulfilled this requirement, resulting in the "confidence limit", (TC) of TI, but the simple, single-point TI was found inadequate to describe the capabilities of materials. This led to the concept of the "Thermal Endurance Profile" (TEP) given in the second edition of this part of IEC 60216, incorporating the temperature index, its variation with specified ageing time, and a confidence limit.

A complicating factor is that the properties of a material subjected to thermal ageing may not all deteriorate at the same rate, and different end-points may be relevant for different applications. Consequently, a material may be assigned more than one temperature index, derived, for example, from the measurement of different properties and the use of different end-point times.

A useful addition to the standard was the relative temperature index (RTI) obtained by simultaneous ageing of a known reference material with the test material, eliminating some of the uncertainties associated with, for example, oven temperature control.

It was subsequently found that the statistical confidence index included in the TEP was not widely understood or used. However, the statistical tests were considered essential, particularly after minor modifications to make them relate better to practical circumstances: the concept of the halving interval (HIC) was introduced to indicate the rate of change of ageing time with temperature. TEP was then abandoned, with the TI and HIC being reported in a way which indicated whether or not the statistical tests had been fully satisfied. At the same time, the calculation procedures were made more comprehensive, enabling full statistical testing of data obtained using a diagnostic property of any type, including the particular case of partially incomplete data. The calculation procedures (by now quite complex) were made more acceptable by the provision of computer programmes suitable for low-price personal computers.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Au moment de la préparation de la présente édition, il a été décidé qu'il convenait que l'indice IRT fasse l'objet d'une norme distincte.

En même temps que l'élaboration de la série 60216, d'autres normes ont été développées à l'ISO. Elles sont destinées à satisfaire une exigence similaire pour les matériaux en plastique et en caoutchouc. Ces normes sont respectivement l'ISO 2578 et l'ISO 11346, qui utilisent des méthodes statistiques moins rigoureuses et des techniques expérimentales plus limitées. Il est possible d'espérer qu'une pratique plus large des possibilités des ordinateurs, déjà mentionnée, ainsi que l'introduction d'une section comparant les méthodes simplifiées créeront le besoin de disposer de normes distinctes.

La CEI 60216, traitant de la détermination des propriétés d'endurance thermique des matériaux isolants électriques est constituée de plusieurs parties:

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 4-1: Etuves de vieillissement – Section 1: Etuves à une seule chambre;

Partie 4-2: Etuves de vieillissement – Etuves de précision pour des utilisations pouvant atteindre 300 °C;

Partie 4-3: Etuves de vieillissement – Etuves à chambres multiples;

Partie 5: Guide pour l'utilisation des caractéristiques d'endurance thermique.

NOTE Cette série peut être étendue. Pour ce qui concerne les révisions et les nouvelles parties, voir le catalogue en vigueur des publications CEI afin de mettre la liste à jour.

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

At the time of preparation of the present edition, it was decided that RTI should be made the subject of a separate standard.

Simultaneously with the development of the IEC 60216 series, other standards were being developed in ISO, intended to satisfy a similar requirement for plastics and rubber materials. These are ISO 2578 and ISO 11346 respectively, which use less rigorous statistical procedures and more restricted experimental techniques. It is hoped that the wide availability of the computer facilities mentioned above and the inclusion of a section of simplified procedures will remove the need for these separate standards.

IEC 60216, which deals with the determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials is composed of several parts:

Part 1: Ageing procedures and evaluation of test results;

Part 2: Choice of test criteria;

Part 3: Instruction for calculating thermal endurance characteristics;

Part 4-1: Ageing ovens – Section 1: Single-chamber ovens;

Part 4-2: Ageing ovens – Precision ovens for use up to 300 °C;

Part 4-3: Ageing ovens – Multi-chamber ovens;

Part 5: Guidelines for the application of thermal endurance characteristics.

NOTE This series may be extended. For revisions and new parts, see the current catalogue of IEC publications for an up-to-date list.

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

MATÉRIAUX ISOLANTS ÉLECTRIQUES – PROPRIÉTÉS D'ENDURANCE THERMIQUE –

Partie 1: Méthodes de vieillissement et évaluation des résultats d'essai

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60216 spécifie les conditions générales de vieillissement et les méthodes à utiliser pour en extraire les caractéristiques d'endurance thermique, et fixe des orientations pour l'utilisation des instructions détaillées et des directives précisées dans les autres parties de la norme.

Des méthodes simplifiées sont également données, avec les conditions dans lesquelles ces méthodes peuvent être utilisées.

Même si à l'origine elles ont été développées pour être utilisées sur les matériaux isolants électriques et des combinaisons simples de tels matériaux, ces méthodes sont considérées comme étant applicables plus généralement et sont largement utilisées pour vérifier des matériaux non destinés à être utilisés comme isolants électriques.

Dans l'application de cette norme, on suppose qu'une relation pratiquement linéaire existe entre le logarithme du temps nécessaire pour provoquer la modification prédéterminée de la propriété, et l'inverse de la température absolue correspondante (relation d'Arrhenius).

Pour que la norme soit valable, il convient qu'il n'y ait pas de transition, en particulier de transition du premier ordre, dans la gamme de températures à l'étude.

Dans le reste du texte de cette norme, le terme «matériaux isolants» est toujours pris dans le sens «matériaux isolants et combinaisons simples de tels matériaux».

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 60216. Pour les références datées, les amendements ultérieurs ou les révisions de ces publications ne s'appliquent pas. Toutefois, les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 60216 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Pour les références non datées, la dernière édition du document normatif de référence s'applique. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 60050(212):1990, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 212: Isolants solides, liquides et gazeux*

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

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

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

ELECTRICAL INSULATING MATERIALS – PROPERTIES OF THERMAL ENDURANCE –

Part 1: Ageing procedures and evaluation of test results

1 Scope

This part of IEC 60216 specifies the general ageing conditions and procedures to be used for deriving thermal endurance characteristics and gives guidance in using the detailed instructions and guidelines in the other parts of the standard.

Simplified procedures are also given, with the conditions under which these procedures may be used.

Although originally developed for use with electrical insulating materials and simple combinations of such materials, the procedures are considered to be of more general applicability and are widely used in the assessment of materials not intended for use as electrical insulation.

In the application of this standard, it is assumed that a practically linear relationship exists between the logarithm of the time required to cause the predetermined property change and the reciprocal of the corresponding absolute temperature (Arrhenius relationship).

For the valid application of the standard, no transition, in particular no first-order transition, should occur in the temperature range under study.

Throughout the rest of this standard the term "insulating materials" is always taken to mean "insulating materials and simple combinations of such materials".

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 60216. For dated references, subsequent amendments to, or revisions of, any of these publications do not apply. However, parties to agreements based on this part of IEC 60216 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. For undated references, the latest edition of the normative document referred to applies. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 60050(212):1990, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 212: Insulating solids, liquids and gases*

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

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

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

CEI 60216-3, *Matériaux isolants électriques – Propriété 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 – Quatrième partie: Etuves de vieillissement – Section 1: Etuves à une seule chambre*

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

ISO 291:1997, *Plastiques – Atmosphères normales de conditionnement et d'essai*

ISO 2578:1993, Plastiques – *Détermination des limites temps-températures après exposition à l'action prolongée de la chaleur*

ISO 11346:1997, *Caoutchouc vulcanisé ou thermoplastique – Estimation de la durée de vie et de la température maximale d'utilisateur au moyen d'un diagramme d'Arrhenius*

3 Termes, définitions, symboles et abréviations

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins de la présente partie de la CEI 60216, les définitions suivantes s'appliquent:

3.1.1
indice de température
IT
valeur numérique de la température en degrés Celsius, déduite de la relation d'endurance thermique pour un temps correspondant à 20 000 h (ou autre temps spécifié)
[VEI 212-02-08, modifié]

3.1.2
intervalle de division par deux
IDC
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 IT
[VEI 212-02-10, modifié]

3.1.3
graphique d'endurance thermique
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
[VEI 212-02-07]

3.1.4
papier pour graphique d'endurance thermique
papier graphique disposant d'une échelle de temps logarithmique en ordonnée, gradué en puissance de dix (la gamme utile est souvent de 10 h à 100 000 h). Les valeurs en abscisse sont proportionnelles à l'inverse de la température thermodynamique (absolue). Les abscisses sont habituellement graduées dans une échelle de température non linéaire (degrés Celsius), classée selon des températures croissantes, augmentant de la gauche vers la droite

3.1.5
données ordonnées
ensemble de données classées en séquence, de façon que, dans la direction appropriée de la séquence, chaque membre soit plus grand ou égal à son prédécesseur

NOTE Dans cette norme, un ordre croissant implique que les données sont ordonnées de cette façon, la première en statistique d'ordre étant la plus petite

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

IEC 60216-3, *Guide for the determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials – 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 60493-1:1974, *Guide for the statistical analysis of ageing test data – Part 1: Methods based on mean values of normally distributed test results*

ISO 291:1997, *Plastics – Standard atmospheres for conditioning and testing*

ISO 2578:1993, *Plastics – Determination of time-temperature limits after prolonged exposure to heat*

ISO 11346:1997, *Rubber, vulcanized or thermoplastic – Estimation of life-time and maximum temperature of use from an Arrhenius plot*

3 Terms, definitions, symbols and abbreviated terms

3.1 Terms and definitions

For the purposes of this part of IEC 60216, the following definitions apply:

3.1.1
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)
[IEV 212-02-08, modified]

3.1.2
halving interval
HIC
numerical value of the temperature interval in kelvins which expresses the halving of the time to end-point taken at the temperature equal to TI
[IEV 212-02-10, modified]

3.1.3
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
[IEV 212-02-07]

3.1.4
thermal endurance graph paper
graph paper having a logarithmic time scale as the ordinate, graduated in powers of ten (from 10 h to 100 000 h is often a convenient range). Values of the abscissa are proportional to the reciprocal of the thermodynamic (absolute) temperature. The abscissa is usually graduated in a non-linear (Celsius) temperature scale oriented with temperature increasing from left to right.

3.1.5
ordered data
set of data arranged in sequence so that, in the appropriate direction through the sequence, each member is greater than, or equal to, its predecessor.

NOTE Ascending order in this standard implies that the data is ordered in this way, the first order-statistic being the smallest.

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

3.1.6
statistique d'ordre
à chaque valeur individuelle dans un ensemble de données ordonnées est attribuée une statistique d'ordre identifiée par sa position numérique dans la séquence

3.1.7
données incomplètes
données ordonnées, où les valeurs au-dessus et au-dessous des points définis ne sont pas connues

3.1.8
données censurées
données incomplètes, où le nombre des valeurs inconnues est connu

NOTE Si la censure est commencée au-dessus/au-dessous d'une valeur numérique spécifique, la censure est de type 1. Si elle est commencée au-dessus/au-dessous d'une statistique d'ordre spécifique, elle est de type 2. La présente norme concerne seulement le type 2

3.1.9
degrés de liberté
nombre de valeurs de données diminué du nombre de paramètres

3.1.10
variance d'un groupe de données
somme des carrés des écarts des données par rapport à un niveau de référence défini en fonction d'un ou de plusieurs paramètres, divisée par le nombre de degrés de liberté

NOTE Le niveau de référence peut être basé, par exemple, sur une valeur moyenne (un paramètre) ou une courbe (deux paramètres, pente ou interception)

3.1.11
covariance de groupes de données
pour deux groupes de données avec un nombre égal d'éléments où chaque élément dans un groupe correspond à un élément dans l'autre, la somme des produits des écarts des membres correspondants par rapport à leur moyenne de groupe, divisée par le nombre de degrés de liberté

3.1.12
analyse de régression
procédé pour déduire la droite du meilleur ajustement, exprimant la relation liant les membres correspondants des deux groupes de données, en minimisant la somme des carrés des écarts des membres de l'un des groupes par rapport à la droite.

NOTE Les paramètres sont appelés coefficients de régression.

3.1.13
coefficient de corrélation
nombre exprimant la plénitude de la relation entre membres de deux groupes de données. En valeur, il est égal à la covariance divisée par la racine carrée du produit des variances des groupes

NOTE La valeur de son carré se situe entre 0 (pas de corrélation) et 1 (corrélation complète).

3.1.14
limite de confiance
TC
paramètre statistique calculé à partir des données d'essai, pour lequel une confiance de 95 % constitue une limite inférieure de la valeur réelle de l'indice de température estimé (IT)

NOTE 1 Une confiance de 95 % implique qu'il y a uniquement 5 % de probabilité pour que la valeur vraie de l'indice de température soit réellement inférieur à TC.

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

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

3.1.6
order-statistics
each individual value in a set of ordered data is referred to as an order-statistics identified by its numerical position in the sequence

3.1.7
incomplete data
ordered data, where the values above and/or below defined points are not known

3.1.8
censored data
incomplete data, where the number of unknown values is known.

NOTE If the censoring is begun above/below a specified numerical value, the censoring is of type 1. If above/below a specified order-statistic, it is of type 2. This standard is concerned only with type 2.

3.1.9
degrees of freedom
number of data values minus the number of parameter values

3.1.10
variance of a data set
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 (one parameter) or a line (two parameters, slope and intercept.

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
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.

NOTE The parameters are referred to as the regression coefficients.

3.1.13
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 The value of its square is between 0 (no correlation) and 1 (complete correlation).

3.1.14
confidence limit
TC
statistical parameter, calculated from the test data, which with 95 % confidence constitutes a lower limit for the true value of the temperature index estimated by TI

NOTE 1 95 % confidence implies that there is only 5 % probability that the true value of the temperature index is actually smaller than TC.

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

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

3.1.15
essai destructif
essai d'une propriété pour réaliser un diagnostic, au cours duquel l'éprouvette d'essai est modifiée de manière irréversible par la mesure de la propriété, de telle manière que cela interdise une mesure répétée sur la même éprouvette

3.1.16
essai non destructif
essai d'une propriété pour réaliser un diagnostic, au cours duquel les propriétés de l'éprouvette d'essai ne sont pas modifiées en permanence par la mesure, de façon qu'une autre mesure sur la même éprouvette puisse être réalisée après un traitement approprié

3.1.17
essai d'épreuve
essai d'une propriété pour réaliser un diagnostic, au cours duquel chaque éprouvette d'essai est, en fin de chaque cycle de vieillissement, soumise à une contrainte spécifiée, d'autres cycles de vieillissement étant réalisés jusqu'au claquage de l'éprouvette en essai

3.1.18
groupe de températures (concernant des éprouvettes)
nombre d'éprouvettes exposées en même temps au même vieillissement en température, dans la même étuve

NOTE S'il n'y a pas de risque d'ambiguïté, les groupes de températures ou les groupes d'essai peuvent simplement être pris en référence comme groupes.

3.1.19
groupe d'essai (concernant des éprouvettes)
nombre d'éprouvettes retirées en même temps d'un groupe de températures (comme ci-dessus) pour effectuer un essai destructif

3.2 Symboles et abréviations

		Articles
a,b	Coefficients de régression	
a,b,c,d	Nombre d'éprouvettes pour les essais destructifs	5.3.2.3, 7.2.3
n	Nombre de valeurs de y	6.4.1
N	Nombre total d'éprouvettes	5.3.2.3, 7.2.3
m_i	Nombre d'éprouvettes dans le groupe de température i (données censurées)	6.3.2
r	Coefficient de corrélation	7.6.3
F	Variable stochastique distribuée selon la loi de Fisher	6.6.1
s_y	Racine carrée de l'écart moyen des point provenant de la droite de régression	
x	Température thermodynamique réciproque ($1/\Theta$)	
y	Logarithme du temps jusqu'au point limite	
ϑ	Température, °C	
Θ	Température, thermodynamique (kelvins)	
Θ_0	Valeur kelvin de 0 °C (273,15 K)	
τ	Temps (jusqu'au point limite)	
χ^2	Variable stochastique distribuée suivant χ^2	
μ_2	Moment central de deuxième ordre d'un groupe de valeurs	
IT	Indice de température	
TC	Limite de confiance inférieure à 95 % de IT	
IDC	Intervalle de division par deux pour une température égale à IT	
PET	Profil d'endurance thermique	
IRT	Indice relatif de température	

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

3.1.15
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

3.1.16
non-destructive test
diagnostic property test, where the properties of the test specimen are not permanently changed by the measurement, so that a further measurement on the same specimen may be made after appropriate treatment

3.1.17
proof test
diagnostic property test, where each test specimen is, at the end of each ageing cycle, subjected to a specified stress, further ageing cycles being conducted until the specimen fails on testing

3.1.18
temperature group (of specimens)
number of specimens being exposed together to the same temperature ageing 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.

3.1.19
test group (of specimens)
number of specimens removed together from a temperature group (as above) for destructive testing

3.2 Symbols and abbreviated terms

		Clause
a,b	Regression coefficients	
a,b,c,d	Numbers of specimens for destructive tests	5.3.2.3, 7.2.3
n	Number of y-values	6.4.1
N	Total number of test specimens	5.3.2.3, 7.2.3
m_i	Number of specimens in temperature group i (censored data)	6.3.2
r	Correlation coefficient	7.6.3
F	Fisher distributed stochastic variable	6.6.1
s_y	Square root of mean square deviation of points from regression line	
x	Reciprocal thermodynamic temperature ($1/\Theta$)	
y	Logarithm of time to end-point	
ϑ	Temperature, °C	
Θ	Temperature, thermodynamic (kelvins)	
Θ_0	Value in kelvins of 0 °C (273,15 K)	
τ	Time (to end-point)	
χ^2	χ^2-distributed stochastic variable	
μ_2	Central second moment of group of values	
TI	Temperature Index	
TC	Lower 95 % confidence limit of TI	
HIC	Halving interval at temperature equal to TI	
TEP	Thermal endurance profile	
RTI	Relative temperature index	

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

4 Résumés des méthodes

4.1 Méthodes d'évaluation complète

La méthode normalisée d'évaluation des propriétés thermiques d'un matériau consiste en une série d'étapes décrites ci-dessous.

NOTE Il est fortement recommandé d'utiliser la méthode d'évaluation complète, comme celle décrite ci-après et dans les paragraphes 5.1 à 5.8. Etant donné que les calculs spécifiés dans la CEI 60216-3 sont complexes et fastidieux quand ils sont effectués en utilisant une calculatrice programmable, la CEI 60216-3 contient également un programme informatique qui simplifie grandement cette tâche et qui en outre affiche le graphique d'endurance thermique sur l'écran de l'ordinateur.

a) Préparer des éprouvettes convenables et appropriées aux mesures des propriétés envisagées (voir 5.3).

b) Soumettre les groupes d'éprouvettes au vieillissement, pour plusieurs niveaux fixés de température élevée, soit de manière continue, soit cycliquement pendant un certain nombre de périodes entre lesquelles les éprouvettes reviennent naturellement à la température ambiante ou à une autre température normalisée (voir 5.5).

c) Soumettre les éprouvettes à une méthode de diagnostic afin de déterminer le degré de vieillissement. Les méthodes de diagnostic peuvent être des déterminations non destructives, ou destructives d'une propriété, ou des essais d'épreuve potentiellement destructifs (voir 5.1 et 5.2).

d) Poursuivre l'exposition continue en température ou le cycle thermique jusqu'à atteindre le point limite spécifié, c'est-à-dire la défaillance des éprouvettes ou jusqu'à atteindre le niveau spécifié de modification de la propriété en cours de mesure (voir 5.1, 5.2 et 5.5).

e) Noter les résultats d'essai de la manière qui correspond au type de méthode de vieillissement (continue ou cyclique), et au type de méthode de diagnostic (voir après le point c)): courbes de vieillissement, ou temps écoulé ou nombre de cycles pour atteindre le point limite, ceci pour chaque éprouvette.

f) Evaluer ces données numériquement et les présenter graphiquement comme cela est expliqué en 6.1 et 6.8.

g) Présenter l'information complète sous forme numérique abrégée, comme cela est indiqué en 6.2, à l'aide de l'indice de température et de l'intervalle de division par deux.

La méthode expérimentale complète et les méthodes d'évaluation sont indiquées de l'article 5 au paragraphe 6.8.

4.2 Méthodes d'évaluation simplifiées et graphiques

Des méthodes simplifiées sont également valables. Elles ne prennent pas en compte la dispersion des données d'essai, mais uniquement les écarts par rapport au comportement linéaire. Elles sont décrites de 7.1 à 7.6.

Il est également possible, avec quelques limitations, d'évaluer les données d'endurance thermique sous forme graphique. Dans ce cas, la détermination statistique de la dispersion des données n'est pas possible, mais on considère comme important l'évaluation de tout écart de données par rapport à la relation linéaire. Des instructions concernant les méthodes graphiques sont également données de 7.1 à 7.6.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

4 Synopsis of procedures

4.1 Full procedures

The standardized procedure for the evaluation of the thermal properties of a material consists of a sequence of steps, as follows.

NOTE It is strongly recommended that the full evaluation procedure, as described below and in 5.1 to 5.8, be used. Because the calculations as specified in IEC 60216-3 are complex and tedious if carried out using a hand calculator, IEC 60216-3 also contains a computer programme which greatly simplifies the task, and, in addition, displays the thermal endurance graph on the computer screen.

a) Preparing suitable specimens appropriate for the intended property measurements (see 5.3).

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 room temperature or another standard temperature (see 5.5).

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 5.1 and 5.2).

d) Extending the continuous 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 5.1, 5.2 and 5.5).

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.

f) Evaluating these data numerically and presenting them graphically, as explained in 6.1 and 6.8.

g) Expressing the complete information in abbreviated numerical form, as described in 6.2 by means of the temperature index and halving interval.

The full experimental and evaluation procedures are given in clause 5 to subclause 6.8.

4.2 Simplified numerical and graphical evaluation procedures

Simplified procedures, which do not test the data dispersion but only deviations from linear behaviour, are also available. These are described in 7.1 to 7.6.

It is also possible, with some limitations, to evaluate the thermal endurance data graphically. In this case, statistical assessment of data dispersion is not possible, but it is considered important to evaluate any deviation of the data from the linear relationship. Instructions for the graphical procedures are also given in 7.1 to 7.6.

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---
Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

5 Méthodes expérimentales détaillées

5.1 Choix des méthodes d'essai

5.1.1 Considérations générales

Il convient de spécifier chaque méthode d'essai quand à la forme, aux dimensions et au nombre d'éprouvettes, ainsi que les températures et les temps d'exposition, la propriété à laquelle l'indice de température est relatif, les méthodes de détermination, le point limite, et la détermination des caractéristiques d'endurance thermique à partir des données expérimentales.

Il convient que la propriété choisie reflète si possible de manière significative une fonction du matériau en service courant. On donne un choix de propriétés dans la CEI 60216-2.

Pour obtenir des conditions uniformes, il peut être nécessaire de spécifier le conditionnement des éprouvettes après leur sortie de l'étuve et avant d'effectuer les mesures.

5.1.2 Instructions particulières pour la détermination de l'indice de température

Si des spécifications CEI du matériau sont disponibles, les exigences relatives à la propriété en termes de limites inférieures d'acceptation des valeurs d'indice IT sont habituellement fournies. Si ces spécifications de matériaux ne sont pas disponibles, un choix de propriétés et de méthodes pour effectuer l'évaluation de l'endurance thermique est indiqué dans la CEI 60216-2. (Si une telle méthode ne peut pas être trouvée, il convient d'utiliser une norme internationale, nationale ou d'un institut de normalisation ou une méthode spécialement conçue, de préférence dans cet ordre).

5.1.3 Détermination de l'indice de température pour des temps autres que 20 000 h

Dans la majorité des cas, les caractéristiques d'endurance thermique requises correspondent à une durée projetée de 20 000 h. Cependant ces informations sont souvent nécessaires pour d'autres durées plus longues ou plus courtes. Dans le cas de durées plus longues, les durées indiquées comme exigences ou recommandations dans le texte de cette norme (par exemple 5 000 h comme valeur minimale du temps le plus long pour le point limite) doivent être augmentées dans la même proportion par rapport à durée de 20 000 h. De la même manière, il convient de modifier approximativement dans les mêmes proportions la durée des cycles de vieillissement. Encore une fois l'extrapolation de la température ne doit pas excéder 25 K. Dans le cas de spécifications de durée plus courte, le temps correspondant peut être diminué dans les mêmes proportions, si nécessaire.

Il faudra être particulièrement attentif aux spécifications temporelles de très courte durée, car les températures de vieillissement plus élevées peuvent conduire à des zones de température contenant des points de transition, par exemple la température de transition vitreuse ou de la fusion partielle, avec pour conséquence une non-linéarité. Des spécifications temporelles très longues peuvent également conduire à la non-linéarité (voir également l'annexe A).

5.2 Choix des points limites

Il peut être nécessaire de caractériser l'endurance thermique des matériaux par des données d'endurances différentes (déduites de l'utilisation de propriétés et de points limites différents), afin de faciliter le choix adéquat du matériau en fonction de son utilisation particulière dans un système d'isolation. Voir la CEI 60216-2.

Il y a deux méthodes alternatives dans lesquelles il est possible de définir le point limite:

a) sous forme de pourcentage d'augmentation ou de diminution de la valeur mesurée de la propriété par rapport à un niveau d'origine. Cette approche permettra des comparaisons parmi les matériaux mais constitue une relation moins riche que celle proposée en b) pour ce qui concerne les valeurs de la propriété requise en service normal. Pour la détermination de la valeur initiale, voir 5.4.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

5 Detailed experimental procedures

5.1 Selection of test procedures

5.1.1 General considerations

Each test procedure should specify the shape, dimensions and number of the test specimens, the temperatures and 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 reflect, in a significant fashion if possible, 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.

5.1.2 Specific instructions for determination of TI

If IEC material specifications are available, property requirements in terms of acceptable lower limits of 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 60216-2. (If such a method cannot be found, an international, national or institution standard or a specially devised method should be used, and in that order of preference.)

5.1.3 Determination of TI for times other than 20 000 h.

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 the text of this standard (for example, 5 000 h for the minimum value of the longest time to end-point) shall be increased in the ratio of the actual specification time to 20 000 h. In the same way, the ageing cycle durations should be changed in approximately the same ratio. The temperature extrapolation again shall not exceed 25 K. 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, for example, glass transition temperature or partial melting, with consequent non-linearity. Very long specification times may also lead to non-linearity (see also annex A).

5.2 Selection of end-points

The thermal endurance of materials may need to be characterized by different endurance data (derived using different properties and/or end-points), in order to facilitate the adequate selection of the material in respect of its particular application in an insulation system. See IEC 60216-2.

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

a) As a percentage increase or decrease in the measured value of the property 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. For the determination of the initial value, see 5.4.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

b) sous forme d'une valeur fixe de la propriété. Cette valeur devrait être choisie en fonction des exigences correspondant à une utilisation normale. Les points limites correspondant aux essais d'épreuve sont majoritairement donnés sous forme de valeurs fixes de la propriété.

Il convient de choisir le point limite pour indiquer un degré de détérioration du matériau isolant dont l'aptitude à supporter une contrainte rencontrée en service normal dans un système d'isolation a diminué. Il convient que le degré de détérioration indiqué sous forme de point limite pour l'essai corresponde à une valeur du matériau pour laquelle la sécurité souhaitée dans la pratique est assurée.

5.3 Préparation et nombre d'éprouvettes

5.3.1 Préparation

Il convient que les éprouvettes utilisées pour l'essai de vieillissement constituent un échantillon aléatoire, extrait de la population étudiée, et qu'elles soient destinées à être traitées uniformément.

Les spécifications du matériau ou les normes d'essai contiendront toutes les instructions nécessaires à la préparation des éprouvettes.

L'épaisseur des éprouvettes fait partie dans certains cas spécifiés de la liste des mesures de propriété prévues pour déterminer l'endurance thermique. Voir la CEI 60216-2. Si ce n'est pas le cas, l'épaisseur doit être notée. Certaines propriétés physiques sont sensibles à des variations même mineures sur l'épaisseur de l'éprouvette. Dans ces cas, l'épaisseur après chaque période de vieillissement peut être à déterminer et à noter si nécessaire dans la spécification particulière.

L'épaisseur est également importante du fait que la vitesse de vieillissement peut varier selon l'épaisseur. Les données de vieillissement concernant les matériaux d'épaisseurs différentes ne sont pas toujours comparables. Par conséquent, il est possible d'assigner à un matériau plus d'une caractéristique d'endurance thermique, déduite des mesures de propriétés pour différentes épaisseurs.

Il convient que les tolérances sur les dimensions des éprouvettes soient les mêmes que celles normalement utilisées pour les essais généraux. S'il est nécessaire d'avoir des dimensions d'éprouvette avec des tolérances plus faibles que celles normalement utilisées, il convient que ces tolérances particulières soient données. Les mesures de vérification garantissent que les éprouvettes sont de qualité uniforme et caractéristiques du matériau à essayer.

Comme les conditions de traitement peuvent affecter de manière significative les caractéristiques de vieillissement de certains matériaux, on doit s'assurer que, par exemple, l'échantillonnage, le découpage d'une feuille dans un rouleau support, le découpage d'un matériau anisotropique dans une direction donnée, le moulage, le durcissement, le pré-conditionnement sont réalisés de manière identique pour toutes les éprouvettes.

5.3.2 Nombre d'éprouvettes

La précision des résultats d'endurance dépend largement du nombre d'éprouvettes vieillies pour chaque température. Des instructions sur le nombre adéquat d'éprouvettes sont données dans la CEI 60216-3. En général les instructions suivantes données de 5.3.2.1 à 5.3.2.3 s'appliquent, ce qui influence la méthode d'essai donnée en 5.8.

Il est prudent de préparer des éprouvettes supplémentaires, ou au moins de constituer un lot de réserve de matériaux d'origine duquel ces éprouvettes peuvent être préparées par la suite. De cette manière tout vieillissement à partir d'éprouvettes supplémentaires requis en cas de complications imprévisibles introduira un risque minimal de production de différences systématiques entre groupes d'éprouvettes. Ces complications peuvent survenir, par exemple, si la relation concernant l'endurance thermique ne reste plus dans la partie linéaire, ou si les éprouvettes sont perdues par suite d'une dérive thermique dans une étuve.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

b) As a fixed value of the property. This value might be selected with respect to usual service requirements. End-points of proof tests 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.

5.3 Preparation and number of test specimens

5.3.1 Preparation

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 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 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.

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, pre-conditioning, are performed in the same manner for all specimens.

5.3.2 Number of specimens

The accuracy of endurance test results depends largely on the number of specimens aged at each temperature. Instructions for an adequate number of specimens are given in IEC 60216-3. Generally, the following instructions (5.3.2.1 to 5.3.2.3), which influence the testing procedure given in 5.8, apply.

It is good practice to prepare additional specimens, or at least to provide a reserve of the original material batch from which such specimens may subsequently be prepared. In this way, any required ageing of additional specimens in case of unforeseen complications will introduce a minimum risk of producing systematic differences between groups of specimens. Such complications may arise, for example, if the thermal endurance relationship turns out to be non-linear, or if specimens are lost due to thermal runaway of an oven.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Si le critère d'essai pour les essais non destructifs et d'épreuves est fondé sur la valeur initiale de la propriété, il convient qu'elle soit déterminée à partir d'un groupe d'éprouvettes dont le nombre est au moins le double pour chaque groupe de température. Pour les essais destructifs, voir 5.3.2.3.

5.3.2.1 Nombre d'éprouvettes pour essais non destructifs

Pour chaque température d'exposition, dans la plupart des cas, un groupe de cinq éprouvettes sera adéquat. Cependant, d'autres orientations seront indiquées dans la CEI 60216-3.

5.3.2.2 Nombre d'éprouvettes pour les essais d'épreuves

Dans la plupart des cas un groupe d'au moins 11 éprouvettes pour chaque température d'exposition sera requis. Pour les résultats obtenus graphiquement et dans plusieurs autres cas, le traitement des données peut être plus simple si le nombre d'éprouvettes dans chaque groupe est impair. D'autres orientations seront indiquées dans la CEI 60216-3.

5.3.2.3 Nombre d'éprouvettes pour essais destructifs

Le nombre (N) est obtenu comme suit: $N = a \times b \times c + d$

où

a est le nombre d'éprouvettes dans un groupe d'essai subissant un traitement identique, pour une température donnée, et écartées après détermination de la propriété (habituellement cinq);

b est le nombre de traitements, c'est-à-dire le nombre total d'expositions, pour une température donnée;

c est le nombre de niveaux de vieillissement;

d est le nombre d'éprouvettes dans le groupe utilisé pour établir la valeur initiale de la propriété. La pratique normale est de choisir $d = 2a$ si le critère de diagnostic est une variation exprimée en pour-cent de la propriété en fonction de son niveau initial. Si le critère est un niveau absolu de propriété, d est habituellement la valeur zéro, sauf si la valeur initiale est requise dans le procès-verbal.

5.4 Détermination de la valeur de la propriété initiale

Choisir les éprouvettes pour déterminer la valeur initiale de la propriété afin de constituer un sous-ensemble aléatoire d'éprouvettes préparées pour le vieillissement. Avant de déterminer la valeur de la propriété, ces éprouvettes doivent être conditionnées, pendant deux jours (48 h ± 6 h), par une exposition au niveau le plus bas de température de vieillissement prévu pour l'essai (voir 5.5).

NOTE Dans certains cas, par exemple pour des éprouvettes très épaisses, des durées supérieures à deux jours peuvent être nécessaires pour fixer une valeur stable.

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

5.5 Températures et temps d'exposition

Pour la détermination des indices IT, il convient que les éprouvettes soient exposées à pas moins de trois, de préférence au moins quatre, températures couvrant une gamme suffisamment large pour établir la relation linéaire entre le temps jusqu'au point limite et l'inverse de la température (absolue) thermodynamique.

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Where the test criterion for non-destructive or proof tests is based upon the initial value of the property, this should be determined from a group of specimens of at least twice the number of specimens in each temperature group. For destructive tests, see 5.3.2.3.

5.3.2.1 Number of specimens for non-destructive tests

For each exposure temperature, in most cases a group of five specimens will be adequate. However, further guidance will be found in IEC 60216-3.

5.3.2.2 Number of specimens for proof tests

In most cases a group of at least 11 specimens for each exposure temperature will be required. For graphical derivation and in some other cases the treatment of data may be simpler if the number of specimens in each group is odd. Further guidance will be found in IEC 60216-3.

5.3.2.3 Number of specimens for destructive tests

This number (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 times, at one temperature;

c is the number of ageing temperature 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.

5.4 Establishment of initial property value

Select the specimens for the determination of the initial value of the property to constitute a random subset of those prepared for ageing. Before determining the property value, these specimens shall be conditioned by exposure to the lowest level of ageing temperature of the test (see 5.5) for two days (48 h ± 6 h).

NOTE In some cases (for example, very thick specimens), times greater than two days may be necessary to establish a stable value.

Unless otherwise stated in the method for determining the diagnostic property (for example, parts of material specifications dealing with methods of test, or a method listed in IEC 60216-2), the initial value is the arithmetic mean of the test results.

5.5 Exposure temperatures and times

For TI determinations, test specimens should be exposed to not less than three, preferably at least four, temperatures covering a sufficient range to demonstrate a linear relationship between time to end-point and reciprocal thermodynamic (absolute) temperature.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Pour réduire les incertitudes dans le calcul de la caractéristique appropriée d'endurance thermique, la gamme totale de températures d'exposition thermique est à choisir avec soin, en vérifiant les exigences suivantes:

a) la température d'exposition la plus basse doit être celle résultant du temps moyen ou médian jusqu'au point limite de plus de 5 000 h lors de la détermination de l'indice IT (voir également 5.1.3);

b) l'extrapolation nécessaire pour établir l'indice IT ne doit pas être supérieure à 25 K;

c) la température d'exposition la plus élevée doit être celle résultant d'une moyenne ou d'un point médian du temps jusqu'au point limite de plus de 100 h (si possible, inférieur à 500 h).

NOTE Pour certains matériaux il peut ne pas être possible de réaliser un temps jusqu'au point limite inférieur à 500 h, tout en maintenant une linéarité satisfaisante. Cependant, il est important qu'une plage plus réduite de temps moyens jusqu'au point limite conduise à un intervalle de confiance plus large du résultat pour une même dispersion de données.

Le paragraphe 5.8 fournit les instructions correspondantes et adaptées à la manière de procéder, en utilisant des critères d'essai non destructifs, d'épreuve ou destructifs.

Le tableau 1 indique les orientations possibles en faisant des choix initiaux.

Un certain nombre de recommandations et de suggestions, utiles pour les temps d'établissement et les températures se trouvent en annexe B.

5.6 Etuves de vieillissement

Pendant toute la période de vieillissement thermique, les étuves de vieillissement doivent maintenir, pour la partie qui concerne l'espace utile où sont placées les éprouvettes, une température donnée avec les tolérances indiquées dans la CEI 60216-4. Sauf spécifications contraires, la CEI 60216-4-1 doit s'appliquer.

Il convient que la circulation de l'air dans l'étuve, ainsi que son renouvellement soient adéquats pour s'assurer que le taux de dégradation thermique n'est pas influencé par l'accumulation des produits de décomposition ou par la raréfaction de l'oxygène (voir 5.7).

5.7 Conditions d'environnement

Les effets des conditions particulières d'environnement comme l'extrême humidité, les contaminations chimiques ou les vibrations peuvent, dans beaucoup de cas, être estimés de manière plus appropriée par des essais de systèmes d'isolation. Cependant, les conditions d'environnement, l'influence d'atmosphères autres que l'air, ainsi que l'immersion dans des liquides comme l'huile peuvent être importantes, mais celles-ci ne font pas l'objet de la présente norme.

5.7.1 Conditions atmosphériques pendant le vieillissement

Sauf spécification contraire, le vieillissement doit être réalisé dans des étuves fonctionnant dans l'atmosphère normale de laboratoire. Cependant, pour certains matériaux très sensibles à l'humidité des étuves, des résultats plus dignes de confiance sont obtenus si l'humidité absolue dans la salle où est placée l'étuve de vieillissement est contrôlée et qu'elle est égale à l'humidité absolue correspondant à l'atmosphère normalisée B, conformément à la CEI 60212. Ces conditions, ou d'autres conditions particulières, doivent alors être notées.

5.7.2 Conditions pour la mesure des propriétés

Sauf spécification contraire, les éprouvettes doivent être conditionnées avant les mesures, et mesurées dans les conditions décrites par les spécifications normalisées des matériaux.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

To reduce the uncertainties in calculating the appropriate thermal endurance characteristic, the overall temperature range of thermal exposure needs to be carefully selected, observing the following requirements:

a) the lowest exposure temperature shall be one which will result in a mean or median time to end-point of more than 5 000 h when determining TI (see also 5.1.3);

b) the extrapolation necessary to establish TI shall not be more than 25 K;

c) the highest exposure temperature shall be one which will result in a mean or median time to end-point of more than 100 h (if possible, less than 500 h).

NOTE For some materials, it may not be possible to achieve a time to end-point of less than 500 h while retaining satisfactory linearity. However, it is important that a smaller range of mean times to end-point will lead to a larger confidence interval of the result for the same data dispersion.

Relevant and detailed instructions on how to proceed using non-destructive, proof or destructive test criteria are provided in 5.8.

Table 1 gives guidance in making initial selections.

A number of recommendations and suggestions, useful in establishing times and temperatures, will be found in annex B.

5.6 Ageing ovens

Throughout the heat ageing period, ageing ovens shall maintain, in that part of the working space where specimens are placed, a temperature with tolerances as given in IEC 60216-4. Unless otherwise specified, IEC 60216-4-1 shall apply.

The circulation of the air within the oven and the exchange of the air content should be adequate to ensure that the rate of thermal degradation is not influenced by accumulation of decomposition products or oxygen depletion (see 5.7).

5.7 Environmental conditions

The effects of special environmental conditions such as extreme humidity, chemical contamination or vibration in many cases may be more appropriately evaluated by insulation systems tests. However, environmental conditioning, the influence of atmospheres other than air and immersion in liquids such as oil may be important, but these are not the concern of this standard.

5.7.1 Atmospheric conditions during ageing

Unless otherwise specified, ageing shall be carried out in ovens operating in the normal laboratory atmosphere. However, for some materials very sensitive to the humidity in the ovens, more reliable results are obtained when the absolute humidity in the ageing oven room is controlled and equal to the absolute humidity corresponding to standard atmosphere B according to IEC 60212. This, or other specified conditions, shall then be reported.

5.7.2 Conditions for property measurement

Unless otherwise specified, the specimens shall be conditioned before measurement and measured under conditions as specified in the material standard specification.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

5.8 Méthode de vieillissement

Ce paragraphe traite des méthodes de base concernant l'utilisation:

a) d'essai non destructif;

b) d'essai d'épreuve;

c) d'essai destructif.

Préparer le nombre d'éprouvettes requis conformément à 5.3. Si nécessaire, déterminer la valeur initiale de la propriété comme cela est spécifié en 5.4. Répartir les éprouvettes aléatoirement en autant de groupes qu'il y a de températures d'exposition.

Etablir les températures et les temps d'exposition conformément aux instructions de 5.5 (voir également annexe B).

Placer un groupe pour une exposition dans chacune des étuves, en satisfaisant à 5.6, les étuves étant maintenues au plus près des températures choisies dans le tableau 1.

NOTE 1 Il est suggéré que les éprouvettes individuelles soient identifiées pour faciliter leur retour dans la bonne étuve après chaque essai.

NOTE 2 Il convient d'être attentif aux recommandations de 5.3, afin de préparer en réserve un groupe supplémentaire d'éprouvettes, dans le but indiqué à l'annexe B, en particulier pour être en mesure d'initier très vite le vieillissement de nouvelles éprouvettes à un niveau supplémentaire de température.

5.8.1 Méthode utilisant un essai non destructif

En fin de chaque cycle, retirer le groupe d'éprouvettes de l'étuve correspondante et les laisser se refroidir à la température ambiante sauf spécification contraire (voir 5.7). Certaines propriétés d'essai peuvent nécessiter des mesures à la température de l'étuve, auquel cas le vieillissement est continu.

Appliquer l'essai approprié à chaque éprouvette et puis remettre le groupe d'éprouvettes dans l'étuve d'où elles proviennent, à la même température que précédemment, et les exposer à un nouveau cycle. Continuer les cycles d'exposition en température, les refroidissements et l'application de l'essai jusqu'à ce que les valeurs mesurées de chaque éprouvette dans le groupe aient atteint le point critique spécifié, pourvu qu'au moins un point se situe au-delà du point limite.

Evaluer les résultats comme cela est indiqué en 6.1 et selon les indications détaillées de la CEI 60216-3, et les noter comme cela est spécifié en 6.8.

5.8.2 Méthode utilisant un essai d'épreuve

Les éprouvettes destinées aux essais d'épreuve doivent être prélevées de manière aléatoire parmi les éprouvettes ayant supporté avec succès les vérifications faites pour l'essai d'épreuve.

Retirer toutes les éprouvettes de l'étuve en fin de chacun des cycles. Après leur retrait, laisser les éprouvettes se refroidir à la température ambiante, et puis soumettre chacune d'entre elles à l'essai d'épreuve spécifié. Replacer les éprouvettes ayant supporté l'essai d'épreuve dans l'étuve d'où elles proviennent, à la même température que précédemment, et les exposer à un nouveau cycle.

Continuer les cycles d'exposition en température, le refroidissement et l'application de l'essai d'épreuve jusqu'au claquage de l'éprouvette médiane numéro $(m + 1)/2$, si le nombre d'éprouvettes (m) est impair, ou ($m/2 + 1$), si le nombre d'éprouvettes est pair. Si les résultats démontrent que ce temps jusqu'au point limite est vraisemblablement atteint en dix périodes d'exposition environ, il n'y a pas besoin de modifier la période d'exposition choisie initialement. Si les résultats n'illustrent pas ceci, la période peut être modifiée de façon que le résultat médian puisse être attendu au cours des sept derniers cycles (de préférence aux environs de dix) pourvu que cette modification de la durée du cycle soit faite avant le quatrième cycle.

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

5.8 Procedure for ageing

This subclause relates to the basic procedures for using:

a) a non-destructive test;

b) a proof test;

c) a destructive test.

Prepare a number of specimens following the instructions in 5.3. If necessary, determine the initial value of the property as specified in 5.4. Divide the specimens by random selection into as many groups as there are exposure temperatures.

Establish the exposure temperatures and times in accordance with the instructions of 5.5 (see also annex B).

Place one group for exposure in each of the ovens complying with 5.6, maintained as closely as possible to the temperatures selected from table 1.

NOTE 1 It is suggested that individual specimens be identified to simplify their return to the correct oven after each test.

NOTE 2 Attention should be given to the recommendation in 5.3 to prepare an extra group of reserve specimens for the purposes stated in annex B, in particular, to be able to initiate early the ageing of new specimens at an additional level of temperature.

5.8.1 Procedure using a non-destructive test

At the end of each cycle, remove the group of specimens from the respective oven and allow them to cool to room temperature unless otherwise specified (see 5.7). Some test properties may require measurement at the oven temperature, in which case the ageing is continuous.

Apply the appropriate test to each specimen and then return the group to the oven from which they came, at the same temperature as before, and expose for a further cycle. Continue the cycles of temperature exposure, cooling and application of the test until the average measured value for the specimens in the group has reached the end-point specified and provided at least one point beyond the end-point.

Evaluate the results as listed in 6.1 and detailed in IEC 60216-3 and report them as specified in 6.8.

5.8.2 Procedure using a proof test

Specimens for testing by a proof-test procedure shall be drawn at random from specimens which have successfully withstood screening by the proof test.

At the end of each cycle, remove all specimens from the oven. After each removal, allow the specimens to cool to room temperature and then subject each one to the specified proof test. Return specimens which have withstood the proof test to the oven from which they came, at the same temperature as before, and expose for a further cycle.

Continue the cycles of temperature exposure, cooling and application of the proof test until the failure of the median specimen number $(m + 1)/2$ if the number of specimens (m) is odd, or $(m/2 + 1)$ if the number of specimens is even. If the results show that this time to end-point is likely to be reached in about 10 periods of exposure, there is no need to alter the period of exposure originally selected. If the results do not show this, the period may be changed so that the median result may be expected in at least seven cycles (preferably about 10) provided this change in cycle time is made before the fourth cycle.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Les cycles d'exposition en température peuvent être poursuivis jusqu'à ce que toutes les éprouvettes aient claqué, ainsi une analyse statistique plus complète peut être faite (voir la CEI 60216-3).

Evaluer les résultats comme indiqué en 6.1 et comme cela est détaillé dans la CEI 60216-3, et les noter comme cela est spécifié en 6.8.

5.8.3 Méthode utilisant un essai destructif

Pour chaque étuve, choisir un groupe d'essai au hasard, composé du nombre d'éprouvettes défini (= a, voir 7.2.3) et les retirer de l'étuve après avoir choisi les durées de façon que les temps d'exposition constituent une séquence convenable. Voir 5.5, annexe B et tableau 1.

Après chaque retrait, laisser les groupes d'éprouvettes se refroidir à la température ambiante, sauf spécification contraire. Pour les matériaux dans lesquels on s'attend à une variation significative des propriétés en raison de la température et de l'humidité, sauf spécification particulière, conditionner les éprouvettes pendant une nuit dans l'atmosphère normalisée B de la CEI 60212. Essayer les éprouvettes et porter les résultats sur une courbe, ainsi que la moyenne arithmétique de ceux-ci (ou dans une forme transformée adaptée en conséquence) en fonction du logarithme du temps d'exposition comme cela est indiqué dans la CEI 60216-3.

Evaluer les résultats comme indiqué en 6.1 et comme cela est détaillé à l'article 6 dans la CEI 60216-3, et les noter comme cela est spécifié en 6.8.

6 Evaluation

6.1 Analyse numérique des données d'essai

Les paragraphes 6.3 à 6.7 spécifient les méthodes de calcul numérique pour une analyse complète des données. Une méthode simplifiée est également possible (7.1 à 7.6), elle conduit à un résultat n'ayant pas le même niveau statistique de confiance. Il convient d'utiliser la méthode simplifiée uniquement dans le cas où l'on peut raisonnablement supposer que la dispersion des données expérimentales est suffisamment faible, pour un intervalle de confiance satisfaisant pour l'indice de température à obtenir (par exemple à partir d'une expérience précédente en rapport).

L'analyse de l'indice de température est fondée sur la supposition qu'il existe une relation linéaire entre le logarithme du temps jusqu'au point limite et l'inverse de la température de vieillissement thermodynamique.

La méthode préférentielle pour évaluer les résultats de l'indice de la température est donnée par la méthode numérique détaillée de la CEI 60216-3, avec la représentation graphique illustrée par la figure 4. Cependant l'évaluation graphique est utilisée quand les exigences statistiques ne sont pas satisfaites ou quand elle est souhaitable pour d'autres raisons. Dans ce cas, les résultats doivent être reportés sur une courbe, en utilisant les températures moyennes mesurées des étuves (voir également annexe A).

6.2 Caractéristiques d'endurance thermique et formats

Les caractéristiques d'endurance thermique sont

l'indice de température IT,

et l'intervalle de division par deux IDC

(voir 6.7).

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

The cycles of temperature exposure may be continued until all specimens have failed, so that a more complete statistical analysis may be made (see IEC 60216-3).

Evaluate the results, as listed in 6.1 and detailed in IEC 60216-3, and report them as specified in 6.8.

5.8.3 Procedure using a destructive test

For each oven, select at random a test group of the assigned number (= a, see 7.2.3) of specimens and remove them from the oven after lengths of time chosen in such a way that the exposure times form a suitable sequence. See 5.5, annex B and table 1.

After each removal, allow the group of specimens to cool to room temperature unless otherwise specified. For materials in which a significant variation of properties with temperature or humidity is expected, unless otherwise specified, condition the specimens overnight in standard atmosphere B of IEC 60212. Test the specimens and plot the results and the arithmetic mean of the results (or a suitable transform thereof) against the logarithm of exposure time as given in IEC 60216-3.

Evaluate the results, as listed in 6.1 and detailed in clause 6 of IEC 60216-3, and report as specified in 6.8.

6 Evaluation

6.1 Numerical analysis of test data

The numerical calculation procedures for the full analysis of data are specified in 6.3 to 6.7. A simplified procedure is also possible (7.1 to 7.6) which leads to a result not having the same statistical confidence. The simplified procedure should only be used where there is a reasonable expectation that the scatter of the experimental data would be sufficiently small for a satisfactory confidence interval of the temperature index to be obtained (for example, from prior relevant experience).

The analysis of TI data is based on the assumption that there is a linear relation between the logarithm of the time to end-point and the reciprocal of the thermodynamic ageing temperature.

The preferred method of evaluation of TI results is by the numerical procedure detailed in IEC 60216-3 together with a graphical presentation as shown in figure 4. However, graphical evaluation is employed when the statistical requirements are not satisfied or when it is felt desirable for other reasons. In this case, the results shall be plotted using the average measured temperatures of the ovens (see also annex A).

6.2 Thermal endurance characteristics and formats

The thermal endurance characteristics are

the temperature index, TI,

and the halving interval, HIC

(see 6.7).

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

L'endurance thermique d'un matériau isolant électrique est toujours donnée pour une propriété particulière et un point limite. Si ceci n'est pas vérifié, toutes les références aux propriétés d'endurance thermique cessent d'être significatives, car les propriétés d'un matériau soumis à un vieillissement thermique peuvent ne pas se détériorer à la même vitesse. Par conséquent, un matériau peut être assigné à plus d'un indice de température ou à plus d'un intervalle de division par deux correspondant, par exemple à ceux provenant de la mesure de propriétés différentes.

Si la déduction est faite par la méthode numérique et que les conditions statistiques relatives à la linéarité et à la dispersion sont satisfaites, le format est le suivant:

IT (IDC): valeur de IT (valeur de IDC),

par exemple: IT (IDC): 152 (9,0).

La valeur de l'indice IT doit être exprimée par la valeur entière la plus proche, et celle de l'indice IDC à une décimale près.

Si la déduction est faite par graphique ou si les conditions statistiques ne sont pas satisfaites, le format est le suivant:

IT_g = Valeur de IT, IDC_g = valeur de IDC

par exemple: IT_g = 152, IDC_g = 9,0.

Si un temps différent de 20 000 h a été utilisé pour déduire l'indice IT, le temps correspondant exprimé en kh doit être indiqué, suivi par kh. Le format de l'indice IT est alors:

durée IT en kh (IDC): valeur IT (valeur IDC)

par exemple: IT 40 kh (IDC): 131(10,0),

et de même pour IT_g

par exemple: IT_g 40 kh = 131, IDC_g = 10,0.

Si la déduction est faite par la méthode simplifiée (voir 7.6) le format est:

IT_s = valeur IT, IDC_s = valeur IDC

par exemple: IT_s = 152, IDC_s = 9,0.

6.3 Temps jusqu'au point limite, valeurs de x et de y

Pour chaque groupe de températures, la valeur de x doit être calculée en utilisant la formule:

$$x = 1/(\vartheta + \Theta_0) \quad (1)$$

où ϑ est la température de vieillissement en degrés Celsius, et Θ_0 = 273,15 K.

6.3.1 Essais non destructifs

Au sein de chaque groupe de températures d'éprouvettes, et pour chaque éprouvette, une valeur de propriété est obtenue après chaque période de vieillissement. A partir de ces valeurs, obtenir, si nécessaire par extrapolation (voir figure 1), le temps jusqu'au point limite et calculer son logarithme comme valeur de y à utiliser en 6.4.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

The thermal endurance of an electrical insulating material is always given for a specific property and end-point. If this is disregarded, any reference to thermal endurance properties ceases to be meaningful since 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 temperature index or halving interval derived, for example, from the measurement of different properties.

Where the derivation is by the numerical method and the statistical conditions concerning linearity and dispersion are satisfied, the format is:

TI (HIC): TI value (HIC value),

for example, TI (HIC): 152 (9,0).

The value of TI shall be expressed as the nearest integral value, and of HIC to one decimal place.

Where the derivation is graphical or the statistical conditions are not satisfied the format is:

TI_g = TI value, HIC_g = HIC value

for example, TI_g = 152, HIC_g = 9,0.

If a time different from 20 000 h has been used for deriving the TI, the relevant time expressed in kh shall be stated, followed by kh. The format of the TI is then:

TI time in kh (HIC): TI value (HIC value)

for example, TI 40 kh (HIC): 131(10,0),

and correspondingly for TI_g

for example, TI_g 40 kh = 131, HIC_g = 10,0.

Where the derivation is by the simplified procedure (see 7.6) the format is:

TI_s = TI value, HIC_s = HIC value

for example, TI_s = 152, HIC_s = 9,0.

6.3 Times to end-point, x- and y-values

For each temperature group, the x-value shall be calculated using the equation:

$$x = 1/(\vartheta + \Theta_0) \quad (1)$$

where ϑ is the ageing temperature in degrees Celsius, and Θ_0 = 273,15 K.

6.3.1 Non-destructive tests

Within each temperature group of specimens, a property value after each ageing period is obtained for each specimen. From these values, if necessary by interpolation (see figure 1), obtain the time to end-point and calculate its logarithm as the y-value to be used in 6.4.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

6.3.2 Essais d'épreuve

Pour chaque éprouvette dans chaque groupe de températures, calculer le point milieu de la période de vieillissement précédant immédiatement le point limite qui sera atteint, et prendre le logarithme de ce temps comme valeur de y.

Un temps jusqu'au point limite situé dans la première période de vieillissement doit être considéré comme non valable. Dans ce cas

a) soit recommencer un nouveau groupe d'éprouvettes,

b) soit ne pas tenir compte de l'éprouvette et réduire d'une unité la valeur attribuée au nombre (m_i) d'éprouvettes dans le groupe i.

Si le point limite est atteint pour plus d'une éprouvette au cours de la première période, ne pas tenir compte du groupe et essayer un autre groupe, en portant une attention particulière à tous les points critiques de la méthode expérimentale.

6.3.3 Essais destructifs

Comme chaque éprouvette est détruite en réalisant la mesure appropriée de la propriété, il n'est pas possible de mesurer directement le temps jusqu'au point limite de chaque éprouvette. Des temps hypothétiques jusqu'au point limite sont calculés en utilisant la méthode mathématique décrite en détail en 6.1.4 de la CEI 60216-3.

Cette méthode est fondée sur l'hypothèse que la vitesse de vieillissement de toutes les éprouvettes vieillies est la même pour une température donnée, et qu'elle peut par conséquent être déterminée à partir de la vitesse de vieillissement des moyennes de la propriété des groupes successifs essayés. On choisit une zone approximativement linéaire du graphique de vieillissement (figure 2), et on trace une droite parallèle à la courbe de vieillissement moyen, passant par chacun des points (temps, propriété). L'intersection de cette droite avec la droite des points limites donne le logarithme du temps jusqu'au point limite requis (voir la figure 3).

NOTE Le graphique de vieillissement est formé par le relevé de la valeur de la propriété, ou d'une transformation adaptée de cette valeur par rapport au logarithme du temps d'exposition. Ceci est nécessaire pour s'assurer que l'intersection de la droite de régression avec le même axe donne la même valeur que la moyenne des intersections avec chaque ligne.

La méthode est réalisée numériquement, et les essais statistiques appropriés sont utilisés. Les valeurs de y déduites sont utilisées dans les calculs de 6.4 (voir 6.1.4 de la CEI 60216-3).

6.4 Moyennes et variances

6.4.1 Données complètes

Pour les essais non destructifs et les essais d'épreuve où le temps jusqu'au point limite est connu pour toutes les éprouvettes dans un groupe de température, la moyenne $\bar{y}$ et la variance s^2 des valeurs de y doivent être calculées à partir des formules:

$$\bar{y} = \sum y / n \tag{2}$$

$$s^2 = \frac{\left[\sum y^2 - \left(\sum y\right)^2 / n\right]}{(n-1)} \tag{3}$$

où n est le nombre de valeurs de y dans le groupe.

Pour les essais destructifs, la même méthode doit être utilisée, s'appliquant aux valeurs hypothétiques de y obtenues comme en 6.3.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

6.3.2 Proof tests

For each specimen in each temperature group, calculate the time to the mid-point of the ageing period immediately prior to reaching the end-point and take the logarithm of this time as the value of y.

A time to end-point within the first ageing period shall be treated as invalid. In this case, either

a) start again with a new group of specimens, or
b) ignore the specimen and reduce the value ascribed to the number (m_i) of specimens in group i by one.

If the end-point is reached for more than one specimen during the first period, discard the group and test a further group, paying particular attention to any critical points of experimental procedure.

6.3.3 Destructive tests

Since each specimen is destroyed in making the relevant property measurement, it is not possible to measure directly the time to end-point for any specimen. Hypothetical times to end-point are calculated using a mathematical procedure described in detail in 6.1.4 of IEC 60216-3.

This procedure is based on the assumption that the ageing rate of all specimens aged at one temperature is the same and can therefore be determined from the ageing rate of the property means of the successive groups tested. An approximately linear region of the ageing graph is selected (figure 2) and a line parallel to the mean ageing graph drawn through each (time, property) point. The intercept of this line with the end-point line gives the logarithm of the required time to end-point (see figure 3).

NOTE The ageing graph is formed by plotting the value of property or a suitable transform of its value against the logarithm of the exposure time. It is necessary to ensure that the intercept of the regression line with the time axis gives the same value as the mean of the intercepts of the individual lines.

The procedure is carried out numerically, and appropriate statistical tests are introduced. The y-values derived are used in the calculations of 6.4 (see 6.1.4 of IEC 60216-3).

6.4 Means and variances

6.4.1 Complete data

For non-destructive tests and proof tests where the time to end-point is known for all specimens in a temperature group, the mean $\bar{y}$ and variance s^2 of the y-values shall be calculated from the equations:

$$\bar{y} = \sum y / n \tag{2}$$

$$s^2 = \frac{\left[\sum y^2 - \left(\sum y\right)^2 / n\right]}{(n-1)} \tag{3}$$

where n is the number of y-values in the group.

For destructive tests, the same procedure shall be used, applied to the hypothetical values of y obtained as in 6.3.

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

6.4.2 Données incomplètes (censurées)

Pour les essais non destructifs et les essais d'épreuve où le vieillissement s'est terminé avant que toutes les éprouvettes d'un groupe aient atteint le point limite, les estimations de la moyenne et de la variance doivent être calculées comme en 6.2.1.2 de la CEI 60216-3.

6.5 Généralités sur les moyennes et les variances, et analyse de régression

La moyenne pondérée et la variance des valeurs de y, ainsi que la moyenne pondérée et le moment centré d'ordre 2 des valeurs de x doivent être calculées comme en 6.2.2 de la CEI 60216-3.

L'analyse de régression pour la pente et l'intersection du graphique d'endurance thermique, ainsi que les essais effectués pour avoir les écarts de linéarité doivent être ceux donnés en 6.2.3 de la CEI 60216-3.

6.6 Essais statistiques et exigences concernant les données

Les essais statistiques suivants sont décrits de façon complète en 6.3 de la CEI 60216-3, et sont résumés dans les annexes A et B de la CEI 60216-3. Ces essais ont été conçus pour tester tous les aspects importants des données qui pourraient rendre non valide la déduction des caractéristiques d'endurance thermique, tout autant que de décider si un écart statistique a une signification pratique.

6.6.1 Données de tous types

Avant l'application des essais statistiques, il est nécessaire que les données satisfassent aux exigences suivantes.

a) La valeur moyenne du temps jusqu'au point limite à la température d'essai la plus basse ne doit pas être inférieure à 5 000 h (ou à $\tau/4$ si un temps τ différent de 20 000 est spécifié pour l'indice de température).

b) La différence entre l'indice de température et la température la plus basse ne doit pas être supérieure à 25 K.

Si une de ces conditions n'est pas satisfaite, la valeur de l'indice IT ne peut pas être retenue. Pour réaliser des calculs valables, un ou plusieurs groupes d'éprouvettes doivent être vieillis à une température inférieure qui permettra de satisfaire aux conditions.

Quand un ensemble de données satisfait aux exigences précédentes, l'exigence statistique est que la différence (IT – TC) entre l'indice de température (IT) et sa limite TC de confiance à 95 % (TC) ne soit pas supérieure à 0,6 fois l'intervalle IDC. La différence est fonction de la dispersion des points de données, des écarts par rapport à la linéarité dans l'analyse de régression, du nombre de points de données et de l'étendue de l'extrapolation.

Les méthodes générales de calcul évoquées ici et détaillées dans la CEI 60216-3 sont fondées sur les principes exposés dans la CEI 60493-1. Ceux-ci peuvent s'exprimer brièvement comme suit (voir 3.7.1 de la CEI 60493-1):

1) La relation existant entre la moyenne des logarithmes des temps mis pour atteindre le point limite spécifié (temps jusqu'au point limite) et l'inverse de la température (absolue) thermodynamique, est une relation linéaire.

2) Les valeurs des écarts des logarithmes des temps jusqu'au point limite par rapport à une relation linéaire sont normalement distribuées, avec une variance qui est indépendante de la température de vieillissement.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

6.4.2 Incomplete (censored) data

For non-destructive tests and proof tests where ageing has been terminated before all specimens in a group have reached end-point, the mean and variance estimates shall be calculated as in 6.2.1.2 of IEC 60216-3.

6.5 General means and variances and regression analysis

The weighted mean and variance of the y-values and the weighted mean and central second moment of the x-values shall be calculated as in 6.2.2 of IEC 60216-3.

The regression analysis for slope and intercept of the thermal endurance graph and the tests for deviations from linearity shall be as in 6.2.3 of IEC 60216-3,

6.6 Statistical tests and data requirements

The following statistical tests are fully specified in 6.3 of IEC 60216-3 and are summarized in annexes A and B of IEC 60216-3. These tests have been designed to test all important aspects of the data which might invalidate derivation of thermal endurance characteristics, as well as to decide whether a failure to satisfy the statistical requirements is of practical significance.

6.6.1 Data of all types

Before application of the statistical tests, it is necessary that the data satisfy the following requirements.

a) The mean value of time to end-point at the lowest test temperature shall be not less than 5 000 h (or $\tau/4$ when a time τ different from 20 000 is specified for the temperature index).

b) The difference between the temperature index and the lowest test temperature shall not be greater than 25 K.

If either of these conditions is not met, the value of TI cannot be reported. In order to carry out valid calculations, one or more further group(s) of specimens shall be aged at such a lower temperature as will enable the conditions to be met.

When a set of data is satisfactory with respect to the above requirements, the statistical requirement is that the difference (TI-TC) between the temperature index (TI) and its lower 95 % confidence limit (TC), is not more than 0,6 HIC. This difference is dependent on the scatter of the data points, the deviations from linearity in the regression analysis, the number of data points and the extent of extrapolation.

The general calculation procedures outlined here and detailed in IEC 60216-3 are based on the principles set out in IEC 60493-1. These may be briefly expressed as follows (see 3.7.1 of IEC 60493-1).

1) The relation between the mean of the logarithms of the times taken to reach the specified end-point (times to end-point) and the reciprocal of the thermodynamic (absolute) temperature is linear.

2) The values of the deviations of the logarithms of the times to end-point from the linear relation are normally distributed, with a variance which is independent of the ageing temperature.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

La première hypothèse est vérifiée par l'essai appelé essai de Fisher (Essai F). Dans cet essai, un paramètre F est calculé à partir des données expérimentales, et comparé avec la valeur F_0 donnée sous forme de tableau. Si $F < F_0$, la supposition de linéarité est acceptée et le calcul est poursuivi. Si ce n'est pas le cas, la supposition est a priori rejetée, mais, puisque dans certains cas particuliers il est possible de détecter une non linéarité statistiquement significative qui est de peu d'importance pratique, les calculs peuvent, dans des conditions spécifiées, être poursuivis selon une manière modifiée (pour les détails voir la CEI 60216-3).

On choisit F_0 de façon que l'essai soit réalisé pour un niveau de signification de 0,05, ce qui signifie qu'il existe une probabilité de 5 % de rejeter la supposition, même si elle est correcte (et une probabilité de 95 % de l'accepter si elle est correcte).

La seconde hypothèse est vérifiée avec l'essai χ^2 de Bartlett. Le paramètre d'essai χ^2 est calculé à partir des données et comparé avec les valeurs de χ^2 données sous forme de tableau. Si ce paramètre χ^2 est supérieur à la valeur donnée dans le tableau, pour un niveau de signification de 0,05, les valeurs de χ^2 et la probabilité *P* correspondante provenant du tableau doivent être notées.

Dans le cas d'essais destructifs (6.3.3), la linéarité des valeurs de la propriété en fonction du temps au voisinage du point limite est également essayée par l'essai F (voir 6.1.4.4 de la CEI 60216-3).

Si la dispersion des données est telle que la valeur de IT – TC se situe entre 0,6 IDC et 1,6 IDC, il est encore possible de noter une valeur ajustée IT_a au lieu de la valeur de l'indice IT calculée, de façon que la différence entre la valeur IT_a et la limite inférieure de confiance de l'indice IT calculé selon la méthode habituelle, soit inférieure ou égale à 0,6 IDC (la valeur de l'indice IT est remplacée par IT_a = TC + 0,6 IDC; voir 4.4(3) et 7.3 de la CEI 60216-3).

Les méthodes de calcul et les limitations correspondantes ont été développées pour satisfaire ces circonstances, et sont détaillées dans la CEI 60216-3. Un organigramme et des tableaux de décision exposant les méthodes et les conditions sont présentées aux annexes A et B de la CEI 60216-3.

6.6.2 Essais d'épreuve

Pour les données d'essai d'épreuve on considère que le temps jusqu'au point limite doit être le point milieu du cycle de vieillissement conduisant au claquage. Les claquages en fin de premier cycle de vieillissement ne peuvent pas être acceptés. Il convient soit de commencer un nouveau groupe avec une durée de cycle si possible plus courte, soit de ne pas prendre en compte le claquage du premier cycle et de réduire d'une unité la dimension nominale du groupe (par exemple un groupe de 21 températures serait à traiter par un processus mathématique de 20; voir 6.1.3 de la CEI 60216-3). Dans chacun de ces cas, il convient d'examiner attentivement la technique de préparation des éprouvettes.

Dans tous les cas, le vieillissement doit être poursuivi jusqu'à ce que plus de la moitié des éprouvettes dans chaque groupe ne réussissent pas l'essai d'épreuve. Il n'est pas nécessaire que tous les groupes soient égaux en taille ou que le nombre de claquages soit le même.

6.6.3 Essais destructifs

Il est normalement requis qu'au moins trois groupes de vieillissement (et de préférence davantage) de chaque température soient choisis pour l'essai de linéarité, qu'il convient de satisfaire pour un niveau de signification de 0,05 (voir figures 2 et 3, ainsi que 6.1.4.4 de la CEI 60216-3), et qu'au moins une des moyennes de ces groupes soit située au-dessus du point limite et qu'au moins une soit au-dessous. Il est permis que ces conditions ne soient pas satisfaites pour des circonstances particulières. (Une petite extrapolation ou un essai de linéarité avec un niveau de signification de 0,005 peut être autorisé: voir 6.1.4.4 de la CEI 60216-3).

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

The first assumption is tested by the so-called Fisher test (F-test). In this test, a test parameter F is calculated from the experimental data and compared with a tabulated value F_0. If $F < F_0$, the assumption of linearity is accepted and the calculation continued. If not, the assumption is *a priori* rejected, but, since in special cases it is possible to detect a statistically significant non-linearity which is of little practical importance, the calculations may, under specified conditions, be continued in a modified way (for details, see IEC 60216-3).

F_0 is chosen so that the test is carried out on significance level 0,05, which means that there is a probability of 5 % of rejecting the assumption, even if correct (and 95 % probability of accepting it when correct).

The second assumption is tested by the Bartlett's χ^2-test. The test parameter χ^2 is calculated from the data and compared with tabulated values of χ^2. If the test parameter χ^2 is greater than the value tabulated for a significance level of 0,05, the values of χ^2 and the corresponding probability *P* from the table shall be reported.

In the case of destructive tests (6.3.3), the linearity of the property values as a function of time in the vicinity of the end-point is also tested by the F-test (see 6.1.4.4 of IEC 60216-3).

When the scatter of the data is such that the value of TI – TC lies between 0,6 HIC and 1,6 HIC, it is still possible to report an adjusted value TI_a instead of the calculated value TI such that the difference between the reported value TI_a and the lower confidence limit of TI calculated by the usual procedure is less than or equal to 0,6 HIC (the value TI is replaced by TI_a = TC + 0,6 HIC; see 4.4(3) and 7.3 of IEC 60216-3)

Calculation procedures and suitable restrictions have been developed to meet these circumstances and are given in detail in IEC 60216-3. A flow chart and decision table setting out the procedures and conditions are given in annexes A and B of IEC 60216-3.

6.6.2 Proof tests

For proof-test data, the time to end-point is considered to be the mid-point of the ageing cycle leading up to failure. Failures at the end of the first ageing cycle cannot be accepted. Either a new group, possibly with a shorter cycle time, should be started, or the first cycle failure ignored and the nominal size of the group reduced by one (for example, a temperature group of 21 would be treated in the mathematical process as 20; see 6.1.3 of IEC 60216-3). In either case, the specimen preparation technique should be carefully examined.

In all cases, ageing shall be continued until more than one-half of the test specimens in each group have failed to pass the proof test. It is not necessary for all groups to be equal in size or for equal numbers to have failed.

6.6.3 Destructive tests

It is normally required that at least three (and preferably more) ageing groups at each temperature be selected for linearity test, which should be satisfied at significance level 0,05 (see figures 2 and 3 and 6.1.4.4 of IEC 60216-3), and at least one of the means of these groups should lie above and at least one below the end-point. It is permitted for these conditions not to be satisfied in specified circumstances. (Either a small extrapolation or linearity test at significance level 0,005 may be permitted; see 6.1.4.4 of IEC 60216-3).

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

6.7 Graphique et caractéristiques d'endurance thermique

Calculer la température ϑ_1 correspondant au temps jusqu'au point limite de 20 000 h (ou jusqu'à un autre temps τ_1 choisi selon l'indice de température, en utilisant la formule (47) de 6.3.3 de la CEI 60216-3).

De la même manière, calculer la température ϑ_2 correspondant au temps jusqu'au point limite de 10 000 h, ou jusqu'à $\tau_1/2$. La différence $\vartheta_2 - \vartheta_1$ est la valeur de l'intervalle de division par deux IDC.

Calculer la température ϑ_3 correspondant au temps jusqu'au point limite de 1 000 h, ou jusqu'à un autre temps $\tau_1/20$. En utilisant les points ϑ_1 et ϑ_3 et les temps correspondants, tracer la droite de régression d'endurance thermique sur du papier graphique d'endurance thermique.

En utilisant les formules (46) à (50) de 6.3.3 de la CEI 60216-3, calculer les limites de confiance inférieures des estimations de température pour des temps de 20 000 h, 1 000 h (ou les valeurs de remplacement comme dans les alinéas précédents), et pour au moins cinq temps intermédiaires. Relever ces temps, ces couples de températures sur le graphique d'endurance thermique, et tracer une courbe lissée passant par ces points.

Sur le même graphique, relever les températures de vieillissement, les temps jusqu'au point limite (mesurés ou hypothétiques), ainsi que les temps moyens.

Les caractéristiques d'endurance thermique sont déduites par le calcul du paragraphe 6.5 (voir également 7.2 et 7.3 de la CEI 60216-3).

6.8 Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit comporter

a) une description des matériaux essayés comprenant leurs dimensions et le conditionnement des éprouvettes;

b) les propriétés étudiées, le point limite choisi, et si c'est un pourcentage, la valeur initiale de la propriété;

c) la méthode utilisée pour la détermination de la propriété (par exemple par référence à une publication CEI);

d) toute information appropriée sur la méthode d'essai, par exemple l'environnement de vieillissement;

e) les températures d'essai individuelles, avec les données correspondantes

   1) pour les essais non destructifs, les temps individuels jusqu'au point limite, avec les graphiques de la variation de la propriété avec les temps de vieillissement

   2) pour les essais d'épreuve, le nombre et les durées des cycles de vieillissement, avec les nombres d'éprouvettes atteignant le point limite en cours de cycles

   3) pour les essais destructifs, les temps de vieillissement et les valeurs individuelles de la propriété, avec les graphiques de la variation de la propriété avec le temps de vieillissement;

f) le graphique d'endurance thermique;

g) l'indice de température et l'intervalle de division par deux noté dans le format défini en 6.2;

h) la valeur de χ^2 et de $k - 1$ si elle est requise par 6.3.1 de la CEI 60216-3;

i) n'importe quel premier cycle de claquage conformément à 5.1.2 de la CEI 60216-3.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

6.7 Thermal endurance graph and thermal endurance characteristics

Calculate the temperature ϑ_1 corresponding to a time to end-point of 20 000 h (or such other time τ_1 chosen for the temperature index using equation (47) of 6.3.3 of IEC 60216-3).

In the same way, calculate the temperature ϑ_2 corresponding to a time to end-point of 10 000 h, or else $\tau_1/2$. The difference $\vartheta_2 - \vartheta_1$ is the value of the halving interval HIC.

Calculate the temperature ϑ_3 corresponding to a time to end-point of 1 000 h, or else $\tau_1/20$. Using the points ϑ_1 and ϑ_3 and their corresponding times, plot the thermal endurance regression line on thermal endurance graph paper.

Using equations (46) to (50) of 6.3.3 of IEC 60216-3, calculate the lower confidence limits of temperature estimate for times of 20 000 h, 1 000 h (or alternatives as in the previous paragraphs) and at least five intermediate times. Plot these time-temperature pairs on the thermal endurance graph and draw a smooth curve passing through these points.

On the same graph, plot the ageing temperatures, the times to end-point (measured or hypothetical), and the mean times.

The thermal endurance characteristics are as derived in the calculations of 6.5 (see also 7.2 and 7.3 of IEC 60216-3).

6.8 Test report

The test report shall include

a) description of the tested material including dimensions and any conditioning of the specimens;

b) the property investigated, the chosen end-point, and, if this is a percentage value, the initial value of the property;

c) the test method used for determination of the property (for example, by reference to an IEC publication);

d) any relevant information on the test procedure, for example, ageing environment;

e) the individual test temperatures, with the appropriate data:

   1) for non-destructive tests, the individual times to end-point, with the graphs of variation of property with ageing time

   2) for proof tests, the numbers and durations of the ageing cycles, with the numbers of specimens reaching end-point during the cycles

   3) for destructive tests, the ageing times and individual property values, with the graphs of variation of property with ageing time;

f) the thermal endurance graph;

g) the temperature index and halving interval reported in the format defined in 6.2;

h) the values of χ^2 and $k - 1$ if required by 6.3.1 of IEC 60216-3;

i) any first cycle failures in accordance with 5.1.2 of IEC 60216-3.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

7 Méthodes simplifiées

7.1 Description sommaire des méthodes

Pour une température choisie, les variations des valeurs numériques d'une caractéristique choisie (par exemple, une propriété mécanique, optique ou électrique: voir la CEI 60216-2) sont déterminées en fonction du temps (voir 5.8).

La méthode est poursuivie jusqu'à ce que la valeur spécifiée du point limite de cette caractéristique ait été atteinte, conduisant au temps jusqu'au point limite pour cette température particulière.

D'autres éprouvettes sont exposées, au minimum à deux autres températures et les variations des caractéristiques correspondantes sont déterminées. Il est recommandé de chauffer les éprouvettes à trois ou quatre températures, et de déterminer le temps jusqu'au point limite pour chaque température.

Quand les données de toutes les températures sont complètes, un graphique d'endurance thermique est tracé, et un calcul statistique relativement simple est fait pour établir si la linéarité du graphique justifie le calcul des caractéristiques d'endurance thermique.

7.2 Méthodes expérimentales

7.2.1 Choix de l'essai de diagnostic

L'essai choisi doit correspondre à une caractéristique de signification pratique vraisemblable et, si possible, doit correspondre à l'utilisation des méthodes d'essai spécifiées par les normes internationales (voir par exemple la CEI 60216-2). Si les dimensions et/ou les formes des éprouvettes sont altérées par le traitement thermique, seules les méthodes d'essai indépendantes de ces effets peuvent être utilisées.

7.2.2 Choix du point limite

Pour le choix du point limite deux facteurs doivent être vérifiés:

a) la période de temps pour laquelle un indice de température doit être estimé. Dans le cas général, une période de 20 000 h est recommandée. Pour les cas particuliers, d'autres temps peuvent être spécifiés;

b) la variation acceptable en valeur de la caractéristique choisie. Cette valeur dépend des conditions d'utilisation envisagées.

7.2.3 Eprouvettes

Les dimensions et la méthode de préparation des éprouvettes doivent être conformes aux spécifications données dans la méthode d'essai correspondante.

a) Pour un critère exigeant des essais non destructifs, dans la plupart des cas, un groupe de cinq éprouvettes pour chaque température d'exposition est adéquat.

b) Pour un critère d'essai d'épreuve, un groupe d'au moins onze et éventuellement 21 éprouvettes sera requis pour chaque température d'exposition.

c) Pour un critère exigeant un essai destructif, un nombre total (N) minimal d'éprouvettes nécessaires est déduit de ce qui suit:

$$N = a \times b \times c + d \qquad (4)$$

où

a est le nombre d'éprouvettes dans un groupe d'essai subissant un traitement identique pour une température donnée, et écartées après détermination de la propriété (habituellement cinq);

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

7 Simplified procedures

7.1 Outline description of procedures

At a chosen temperature, the variations in the numerical value of a chosen characteristic (for example, a mechanical, optical or electrical property: see IEC 60216-2) are determined as a function of time (see 5.8).

The procedure is continued until the specified end-point value of that characteristic has been reached, resulting in the time to end-point at that particular temperature.

Further specimens are exposed at a minimum of two other temperatures and the variations in the relevant characteristic determined. It is recommended that test specimens be heated-aged at three or four temperatures, and the time to end-point for each of the temperatures determined.

When the data at all temperatures are complete, a thermal endurance graph is drawn, and a relatively simple statistical calculation made, to assess whether the linearity of the graph justifies the calculation of thermal endurance characteristics.

7.2 Experimental procedures

7.2.1 Choice of diagnostic test

The test chosen shall relate to a characteristic which is likely to be of significance in practice and, wherever possible, use shall be made of test methods specified in international standards (see, for example, IEC 60216-2). If the dimensions and/or form of the test specimens are altered by the heat treatment, then only test methods which are independent of these effects may be used.

7.2.2 Choice of end-point

For the selection of the end-point, two factors shall be considered:

a) the period of time for which a temperature index shall be estimated. For general purposes, a period of 20 000 h is recommended; for special purposes, other times may be specified;

b) the acceptable change in value of the chosen characteristic. This value depends on the conditions of use foreseen.

7.2.3 Test specimens

The dimensions and method of preparation of the test specimens shall be in accordance with the specifications given for the relevant test method.

a) For a criterion requiring non-destructive testing, in most cases a group of five test specimens for each exposure temperature is adequate.

b) For proof-test criteria, a group of at least 11 and possibly 21 specimens will be required for each exposure temperature.

c) For a criterion requiring a destructive test, the minimum total number (N) of test specimens needed is derived as follows:

$$N = a \times b \times c + d \qquad (4)$$

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);

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

b est le nombre de traitements, c'est-à-dire durées d'exposition, à une température donnée;

c est le nombre de niveaux de température d'exposition;

d est le nombre d'éprouvettes dans le groupe utilisé pour établir la valeur initiale de la propriété. La pratique normale est de choisir $d = 2a$ quand le critère de diagnostic est une variation en pour-cent de la propriété par rapport à son niveau initial. Quand le critère est un niveau de propriété absolu, on donne habituellement à *d* la valeur zéro, sauf si l'indication de la valeur initiale est requise.

NOTE 1 S'il y a un grand nombre d'éprouvettes à essayer, il peut être possible dans certains cas de s'écarter des spécifications d'essai correspondantes et de réduire ce nombre. Cependant, il faut reconnaître que la précision du résultat d'essai dépend dans une large mesure du nombre d'éprouvettes essayées.

NOTE 2 Au contraire, quand les résultats individuels sont trop dispersés, une augmentation du nombre d'éprouvettes peut être nécessaire afin d'obtenir une précision satisfaisante.

NOTE 3 Il est judicieux de faire une évaluation approximative, au moyen d'essais préliminaires, du nombre et de la durée des essais de vieillissement nécessaires.

7.3 Températures d'exposition

Les éprouvettes doivent être exposées à pas moins de trois températures, couvrant une gamme adéquate pour établir l'indice de température par extrapolation avec le niveau requis de précision. La température d'exposition la plus basse doit être choisie de façon que le temps mis pour atteindre le point limite soit d'au moins 5 000 h. De manière similaire, la température la plus élevée doit être choisie de façon que le temps mis pour atteindre le point limite ne soit pas inférieur à 100 h et de préférence ne soit pas supérieur à 500 h (voir la note en 5.5, c)). La température d'exposition la plus basse ne doit pas être supérieure à 25 °C au-dessus de l'indice de température IT envisagé.

Si l'indice de température prévu est envisagé pour une temps autre que 20 000 h, la température d'exposition la plus basse doit être choisie de façon que le temps mis pour atteindre le point limite soit d'au moins un quart du temps choisi pour l'extrapolation.

Le choix des températures d'exposition appropriées requiert des informations préalables sur les matériaux en essai, déterminées préalablement. Si de telles informations ne sont pas disponibles, des essais exploratoires peuvent aider à choisir les températures d'exposition qui sont adaptées à l'évaluation des caractéristiques d'endurance thermique.

7.4 Etuves de vieillissement

Pour le vieillissement calorifique, les étuves satisfaisant aux exigences spécifiées dans la CEI 60216-4 doivent être utilisées, en particulier conformité aux tolérances sur la température et aux taux de renouvellement de l'air.

7.5 Méthodes

En plus des éprouvettes à exposer aux températures de vieillissement, on doit préparer un nombre adapté d'éprouvettes

– pour les cas où la précision exigerait un vieillissement thermique à une température supplémentaire,

– comme éprouvettes de référence.

Ces éprouvettes doivent être conservées dans une atmosphère contrôlée et appropriée (voir l'ISO 291).

7.5.1 Valeurs initiales de la propriété

Avant de commencer la méthode de vieillissement calorifique, on doit faire un essai initial à la température ambiante, avec le nombre requis d'éprouvettes conditionnées et essayées conformément à la méthode d'essai choisie.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

b is the number of treatments, i.e. exposure lengths, at one temperature;

c is the number of exposure temperature 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.

NOTE 1 If these rules lead to a very large number of specimens to be tested, it may be possible in certain cases to deviate from the relevant test specifications and to reduce this number. However, it must be recognized that the precision of the test result depends to a large extent on the number of specimens tested.

NOTE 2 Conversely, when the individual results are too scattered, an increase in the number of specimens may be necessary in order to obtain satisfactory precision.

NOTE 3 It is advisable to make an approximate assessment, by means of preliminary tests, of the number and duration of the ageing tests required.

7.3 Exposure temperatures

Test specimens shall be exposed at not less than three temperatures, covering a range adequate to establish the temperature index by extrapolation with the required degree of accuracy. The lowest exposure temperature shall be chosen so that the time taken to reach the end-point is at least 5 000 h. Similarly, the highest temperature shall be chosen so that the time taken to reach the end-point is not shorter than 100 h and preferably not more than 500 h (see note in 5.5, c)). The lowest exposure temperature shall not be more than 25 °C above the anticipated TI.

If the temperature index sought is intended for a time other than 20 000 h, the lowest exposure temperature shall be chosen so that the time taken to reach the end-point is at least one-quarter of the time chosen for extrapolation.

Selection of appropriate exposure temperatures requires previously determined information on the material under test. If such information is not available, exploratory tests may help in selecting exposure temperatures which are suitable for evaluating the thermal endurance characteristics.

7.4 Ageing ovens

For heat ageing, ovens shall be used that meet the requirements specified in IEC 60216-4, in particular with respect to the temperature tolerances and ventilation rates of air exchange.

7.5 Procedure

In addition to the specimens to be exposed to heat-ageing temperatures, an adequate number of test specimens shall be prepared

– for cases in which the accuracy requires heat ageing at an additional temperature,

– as reference specimens.

They shall be stored in an appropriately controlled atmosphere (see ISO 291).

7.5.1 Initial property values

When required, before the heat-ageing procedure is started, an initial test shall be made at room temperature with the required number of specimens conditioned and tested in accordance with the chosen test method.

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Les matériaux thermodurcissables doivent être conditionnés pendant 48 h à la température d'exposition la plus basse de la gamme choisie.

7.5.2 Méthodes de vieillissement

Mettre le nombre requis d'éprouvettes dans chacune des étuves maintenues aux températures choisies.

S'il existe un risque d'auto-contamination entre les éprouvettes provenant de différents plastiques, il faut utiliser des étuves distinctes pour chaque matériau.

En fin de chacune des périodes de vieillissement, le nombre requis d'éprouvettes est retiré de l'étuve et les éprouvettes sont conditionnées, si nécessaire, dans l'atmosphère contrôlée appropriée (voir l'ISO 291). L'essai doit être réalisé à la température ambiante, conformément au critère d'essai choisi. Dans le cas d'essai non destructif ou d'essai d'épreuve, les éprouvettes doivent être remises dans l'étuve pour un autre vieillissement, après l'essai.

Poursuivre cette méthode jusqu'à ce que la valeur numérique moyenne de la caractéristique à l'étude atteigne le point limite correspondant.

7.6 Méthodes de calculs simplifiés

7.6.1 Temps jusqu'au point limite

Pour les essais destructifs, à chaque température d'exposition, on relève la valeur moyenne de la propriété choisie pour le groupe retiré de l'étuve après chaque période vieillissement, en fonction du logarithme du temps de vieillissement (voir figure 2). On prend le point auquel ce graphique coupe la droite horizontale représentant le critère du point limite, comme temps jusqu'au point limite du groupe de températures.

Pour les essais non destructifs, on relève la valeur de la propriété mesurée, pour chaque éprouvette et après chaque période de vieillissement, et l'on prend le point où ce graphique coupe la droite horizontale représentant le critère du point limite comme temps jusqu'au point limite de l'éprouvette. Le temps jusqu'au point limite du groupe de températures est la moyenne des temps d'éprouvette.

Lors de l'application d'un essai d'épreuve, chaque durée de vieillissement doit être calculée comme la moyenne des temps au début et en fin de période de vieillissement. Le temps de vieillissement du groupe de températures doit être pris comme étant le temps de la période de vieillissement au cours de laquelle le claquage médian de l'éprouvette se produit (voir également 6.3.2).

7.6.2 Calcul de la droite de régression

La fonction de vieillissement dans le cadre supposé de cette norme est l'équation faisant correspondre la température (absolue) Θ en kelvins au temps requis pour une variation fixe de la valeur de la propriété τ:

$$\tau = Ae^{B/\Theta} \qquad (5)$$

où

A et B sont des constantes dépendantes du matériau et de l'essai de diagnostic;

Θ est la température absolue, égale à $\vartheta + \Theta_0$;

ϑ étant la température en degrés Celsius (°C);

Θ_0 = 273,15 K.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Thermosetting materials shall be conditioned for 48 h at the lowest exposure temperature of the range selected.

7.5.2 Ageing procedure

Place the required number of specimens in each of the ovens maintained at the selected temperatures.

If there is a risk of cross-contamination between test specimens originating from different plastics, use separate ovens for each material.

At the end of each heat-ageing period, the required number of test specimens is removed from the oven and conditioned, if necessary, under the appropriately controlled atmosphere (see ISO 291). The test, in accordance with the selected test criterion, shall be carried out at room temperature. After testing, in the case of non-destructive and proof tests, the specimens shall be returned to the oven for further ageing.

Continue this procedure until the mean numerical value of the characteristic under investigation reaches the relevant end-point.

7.6 Simplified calculation procedures

7.6.1 Times to end-point

For destructive tests for each exposure temperature and for the group removed from the oven after each heat-ageing period, the mean value of the chosen property is plotted as a function of the logarithm of the time of ageing (see figure 2). The point at which this graph intersects the horizontal line representing the end-point criterion is taken as the time to end-point of the temperature group.

For non-destructive tests, the value of property measured on each specimen after each ageing period is plotted and the point at which this graph intersects the horizontal line representing the end-point criterion is taken as the time to end-point of the specimen. The time to end-point of the temperature group is the mean of the specimen times.

When applying a proof test, each ageing time shall be calculated as the mean of the times at the beginning and end of the ageing period. The ageing time of the temperature group shall be taken as the time of the ageing period in which the median failure on proof test takes place (see also 6.3.2).

7.6.2 Calculation of the regression line

The ageing function assumed for the purposes of this standard is the equation relating the absolute (kelvin) temperature Θ to the time needed for a fixed change in the value of property, τ:

$$\tau = Ae^{B/\Theta} \tag{5}$$

where

A and B are constants dependent on material and diagnostic test;

Θ is the absolute temperature, equal to $\vartheta + \Theta_0$;

ϑ is the temperature in degrees Celsius (°C);

Θ_0 = 273,15 K.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Ceci peut s'exprimer par une équation linéaire:

$$y = a + bx \tag{6}$$

où

$y = \ln \tau$

$x = 1/\Theta$

$a = \ln A$

$b = B$.

Etant donné un groupe de paires de valeurs x, y, les valeurs de a et b donnant la relation linéaire la plus adaptée sont déterminées par les valeurs x, y:

$$b = \frac{\left(\sum xy - \sum x \sum y / k\right)}{\left[\sum x^2 - \left(\sum x\right)^2 / k\right]} \tag{7}$$

$$a = \frac{\left(\sum y - b \sum x\right)}{k} \tag{8}$$

où k est le nombre de valeurs de x, y.

NOTE 1 Comme la plupart des calculateurs «scientifiques» disposant de fonctions «statistiques» ont des possibilités d'analyse de régression, les calculs correspondant aux équations (5) à (7) ci-dessus sont exécutés par le calculateur. Il est important dans ce cas que x soit entré comme valeur indépendante et y comme valeur dépendante.

NOTE 2 Il est habituellement possible avec ces calculateurs d'entrer les valeurs du temps et de la température et de les convertir en x et y avant d'effectuer la somme.

NOTE 3 Des logarithmes dans une autre base (par exemple 10) peuvent être utilisés, mais cela affectera la valeur à utiliser en 7.6.3.

7.6.3 Calcul des écarts de linéarité

Calculer le coefficient de détermination (carré du coefficient de corrélation). De nouveau, ceci peut être fait en utilisant les possibilités de régression du calculateur.

$$r^2 = \frac{\left(\sum xy - \sum x \sum y / k\right)^2}{\left[\sum x^2 - \left(\sum x\right)^2 / k\right]\left[\sum y^2 - \left(\sum y\right)^2 / k\right]} \tag{9}$$

Calculer le moment centré d'ordre deux des valeurs de y. Cette valeur est égale au carré de l'écart type de y multiplié par le facteur $(k - 1)/k$.

$$\mu_2(y) = \frac{\left[\sum y^2 - \left(\sum y\right)^2 / k\right]}{k} \tag{10}$$

Calculer l'écart moyen des points de données par rapport à la droite de régression:

$$s_y = \sqrt{\frac{\left(1 - r^2\right)\mu_2(y)}{(k-2)}} \tag{11}$$

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

This may be expressed as a linear equation:

$$y = a + bx \tag{6}$$

where

$y = \ln \tau$

$x = 1/\Theta$

$a = \ln A$

$b = B$.

Given a group of paired x, y values, the values of a and b giving the best fit linear relationship are determined from the x, y values:

$$b = \frac{\left(\sum xy - \sum x \sum y / k\right)}{\left[\sum x^2 - \left(\sum x\right)^2 / k\right]} \tag{7}$$

$$a = \frac{\left(\sum y - b \sum x\right)}{k} \tag{8}$$

where k is the number of x, y values.

NOTE 1 Since most "scientific" calculators with "statistics" functions have regression analysis facilities, the calculations implied by equations (5) to (7) above are executed by the calculator. It is important in this case that x is entered as the independent variable and y as the dependent.

NOTE 2 It is usually possible with such calculators to enter the time and temperature values and convert them to x and y before the summation is executed.

NOTE 3 Logarithms to another base (for example, 10) may be used but will affect the value to be used in 7.6.3.

7.6.3 Calculation of deviation from linearity

Calculate the coefficient of determination (square of correlation coefficient). Again, this can be done in the regression facility of the calculator.

$$r^2 = \frac{\left(\sum xy - \sum x \sum y / k\right)^2}{\left[\sum x^2 - \left(\sum x\right)^2 / k\right]\left[\sum y^2 - \left(\sum y\right)^2 / k\right]} \tag{9}$$

Calculate the central second moment of the y values. This is equal to the square of the standard deviation of y multiplied by (k-1)/k.

$$\mu_2(y) = \frac{\left[\sum y^2 - \left(\sum y\right)^2 / k\right]}{k} \tag{10}$$

Calculate the mean deviation of data points from the regression line:

$$s_y = \sqrt{\frac{\left(1 - r^2\right)\mu_2(y)}{(k-2)}} \tag{11}$$

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

7.6.4 Indice de température et intervalle de division par deux

Si la valeur de s_y obtenue à partir de l'équation (11) est inférieure à 0,16 (ou à 0,0695 si l'on utilise les logarithmes à base 10), alors les valeurs de IT et de IDC peuvent être déterminées. Si cette condition n'est pas satisfaite, les écarts par rapport à l'hypothèse fondamentale sont trop importants pour autoriser le calcul.

$$\vartheta = \frac{b}{(ln\ \tau - a)} - \Theta_0 \qquad (12)$$

En utilisant l'équation (12), calculer les températures correspondant aux valeurs de τ (temps en heures) suivantes: 20 000, 10 000 et 2 000, désignées respectivement par $\vartheta_{20\ 000}$, $\vartheta_{10\ 000}$, et $\vartheta_{2\ 000}$.

En utilisant les paires de données ($\vartheta_{20\ 000}$, 20 000) et ($\vartheta_{2\ 000}$, 2 000) tracer la droite de régression sur le papier d'endurance thermique pour obtenir le graphique d'endurance thermique.

Calculer les valeurs de IT et de IDC:

$$\text{IT} = \vartheta_{20\ 000},\ \text{IDC} = \vartheta_{10\ 000} - \vartheta_{2\ 000}$$

NOTE Si une valeur τ, différente de 20 000 est utilisée pour le calcul de IT, remplacer 10 000 et 2 000 dans l'équation ci-dessus par $\tau/2$ et $\tau/10$.

7.6.5 Validité des calculs simplifiés

La méthode de calcul donnée ci-dessus est uniquement valable si le nombre des données contribuant au temps moyen jusqu'au point limite pour tous les groupes de température est approximativement le même. En plus, la méthode ne vérifie pas la dispersion des données d'essai en vue d'une acceptation. Pour ces raisons, le résultat ne peut pas être donné par l'état d'une acceptation complète statistique, et il convient que la méthode soit uniquement utilisée s'il existe déjà une acceptation avérée de la tenue du matériau pour l'essai d'endurance thermique.

Dans tous les cas, s'il y a doute, il convient de réaliser l'analyse complète donnée en 6.3 à 6.7 et dans la CEI 60216-3, en particulier s'il y a doute sur l'acceptation de la dispersion des données d'essai.

7.6.6 Rapport d'essai

Faire le rapport d'essai conformément à 6.8, présenté sous la forme:

$$\text{IT}_\text{s} = xxx,\ \text{IDC}_\text{s} = yy,y$$

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

7.6.4 Temperature index and halving interval

If the value of s_y obtained from equation (11) is less than 0,16 (or 0,0695 if using logarithms to base 10) then the values of TI and HIC may be determined. If this condition is not satisfied, then the deviations from the fundamental assumption are too great to allow the calculation.

$$\vartheta = \frac{b}{(ln\ \tau - a)} - \Theta_0 \qquad (12)$$

Using equation (12), calculate the temperatures corresponding to values of τ (time in hours) of 20 000, 10 000 and 2 000, designated $\vartheta_{20\ 000}$, $\vartheta_{10\ 000}$, and $\vartheta_{2\ 000}$ respectively.

Using the data pairs ($\vartheta_{20\ 000}$, 20 000) and ($\vartheta_{2\ 000}$, 2 000) draw the regression line on thermal endurance paper to obtain the thermal endurance graph.

Calculate the values of TI and HIC:

$$\text{TI} = \vartheta_{20\ 000},\ \text{HIC} = \vartheta_{10\ 000} - \vartheta_{2\ 000}$$

NOTE If a value τ, different from 20 000 is used for the calculation of TI, replace 10 000 and 2 000 in the above by $\tau/2$ and $\tau/10$.

7.6.5 Validity of simplified calculations

The calculation procedure given above is only valid when the numbers of data contributing to the mean time to end-point for all temperature groups are approximately equal. In addition, the procedure does not test the scatter of the test data for acceptability. For these reasons, the result cannot be given the status of full statistical acceptance, and the procedure should only be used when there is already satisfactory experience of the behaviour of the material in thermal endurance testing.

In all cases of doubt, the fuller analysis described in 6.3 to 6.7 and IEC 60216-3 should be carried out, especially if there is doubt about the acceptability of scatter of test data.

7.6.6 Test report

Make the test report in accordance with 6.8, reporting in the format

$$\text{TI}_\text{s} = xxx,\ \text{HIC}_\text{s} = yy,y$$

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Tableau 1 – Températures et durée d'exposition suggérées

Valeur estimée de IT dans la gamme °C	**Température d'exposition** °C ***Boîtes:*** **durée des cycles d'exposition en jours**																								
	120	**130**	**140**	**150**	**160**	**170**	**180**	**190**	**200**	**210**	**220**	**230**	**240**	**250**	**260**	**270**	**280**	**290**	**300**	**310**	**320**	**330**	**340**	**360**
95-104	28		14		7		3		1															
105-114		28		14		7		3		1														
115-124			28		14		7		3		1													
125-134				28		14		7		3		1												
135-144					28		14		7		3		1											
145-154						28		14		7		3		1										
155-164							28		14		7		3		1									
165-174								28		14		7		3		1								
175-184									28		14		7		3		1							
185-194										28		14		7		3		1						
195-204											28		14		7		3		1					
205-214												28		14		7		3		1				
215-224													28		14		7		3		1			
225-234														28		14		7		3		1		
235-244															28		14		7		3		1	
245-254																28		14		7		3		1

D'autres commentaires et recommandations sont présentés à l'annexe B.

NOTE 1 Ce tableau est à l'origine destiné aux essais cycliques d'épreuve et aux essais non destructifs, mais il peut également être utilisé comme guide pour choisir les intervalles de temps adaptés aux essais destructifs. Dans ce cas des cycles de temps de 56 jours, ou même plus, peuvent être requis.

NOTE 2 Quand on étend le programme d'essai en soumettant des éprouvettes supplémentaires au vieillissement pour des températures inférieures à la plus basse initialement planifiée des températures de vieillissement, il convient de tenir compte d'un intervalle de température de 10 K et d'une durée de cycle de 42 jours pour la détermination de IT.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Table 1 – Suggested exposure temperatures and times

Estimated value of TI in range °C	Exposure temperature °C *Boxes:* duration of exposure cycle in days																								
	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	360
95-104	28		14		7		3		1															
105-114		28		14		7		3		1														
115-124			28		14		7		3		1													
125-134				28		14		7		3		1												
135-144					28		14		7		3		1											
145-154						28		14		7		3		1										
155-164							28		14		7		3		1									
165-174								28		14		7		3		1								
175-184									28		14		7		3		1							
185-194										28		14		7		3		1						
195-204											28		14		7		3		1					
205-214												28		14		7		3		1				
215-224													28		14		7		3		1			
225-234														28		14		7		3		1		
235-244															28		14		7		3		1	
245-254																28		14		7		3		1

Further discussion and recommendations will be found in annex B.

NOTE 1 This table is intended primarily for cyclic proof testing and non-destructive tests, but may also be used as a guide for selection of suitable time intervals for destructive tests. In this case, cycle times of 56 days, or even more, may be required.

NOTE 2 When extending the test programme by submitting additional specimens to ageing at temperatures below the lower of the originally planned ageing temperatures, a temperature interval of 10 K and a cycle duration of 42 days for TI determination should be considered.

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

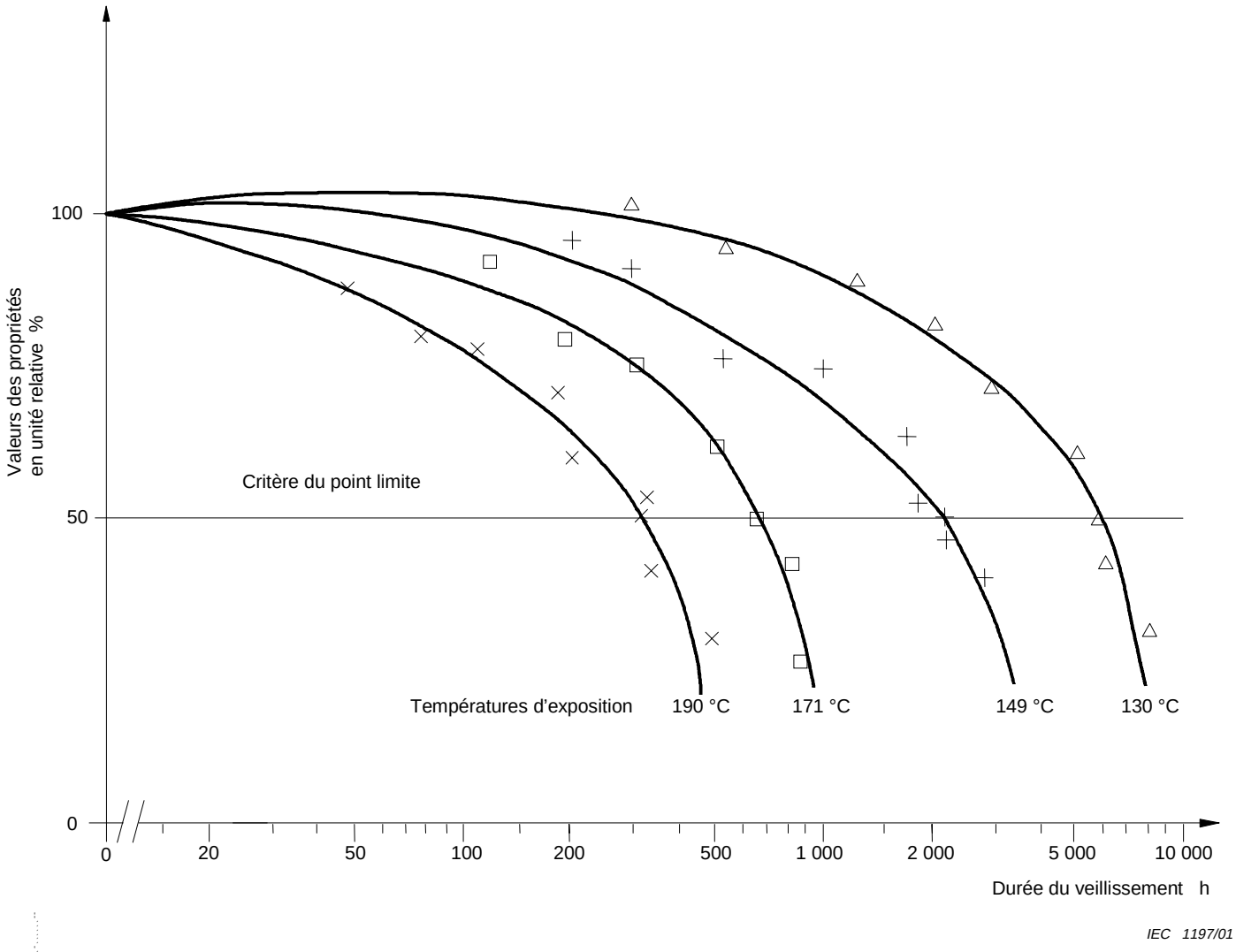


Figure 1 – Variation de la propriété – Détermination du temps jusqu'au point limite pour chaque température (essais destructif et non destructif)

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

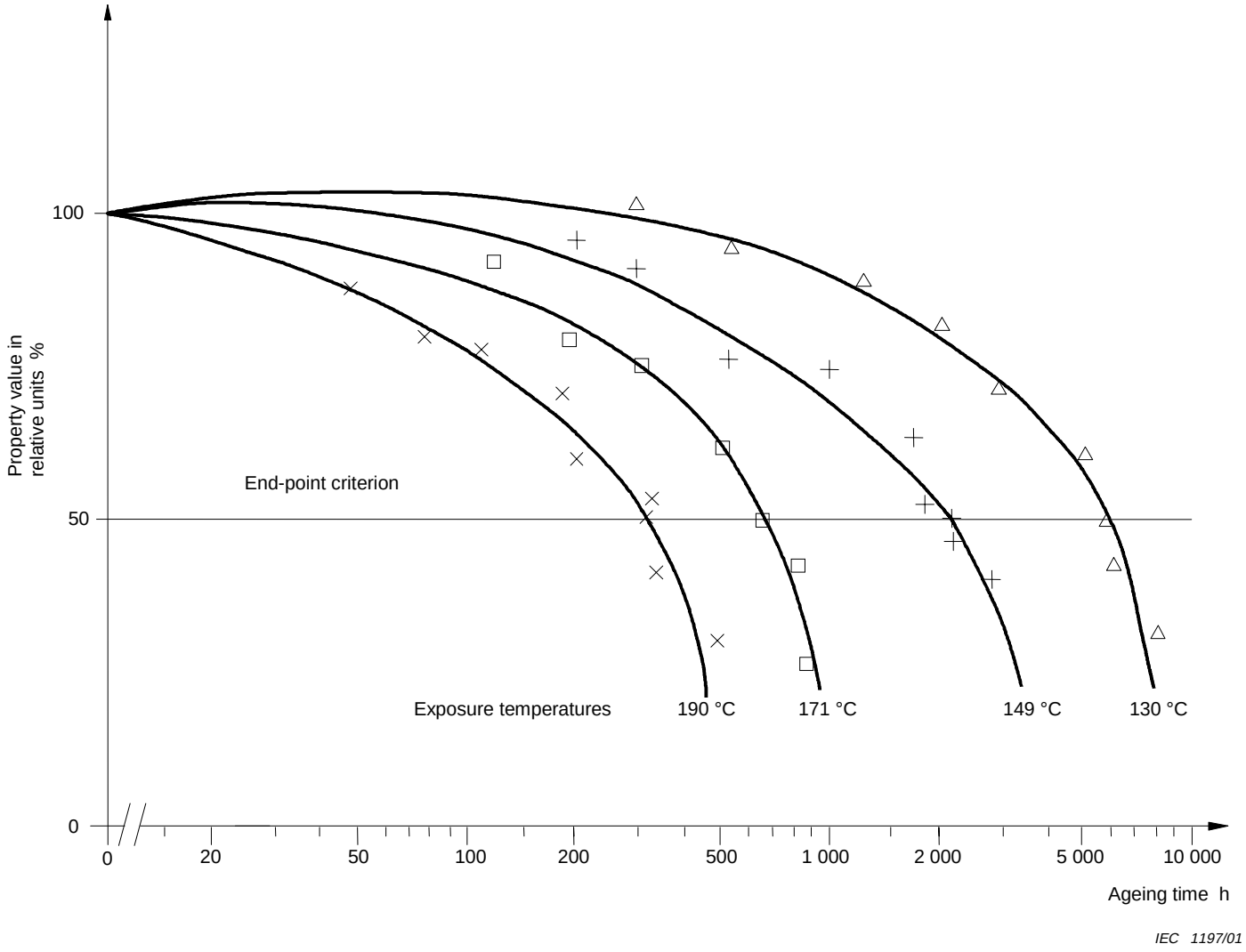
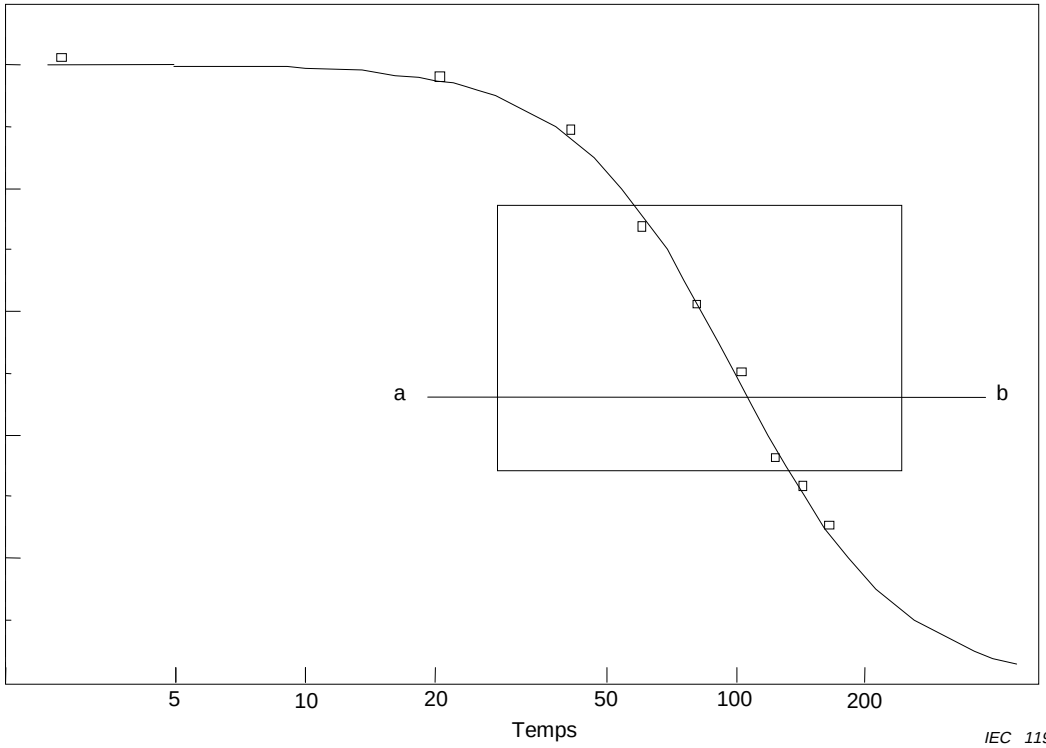


Figure 1 – Property variation – Determination of time to end-point at each temperature (destructive and non-destructive tests)

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

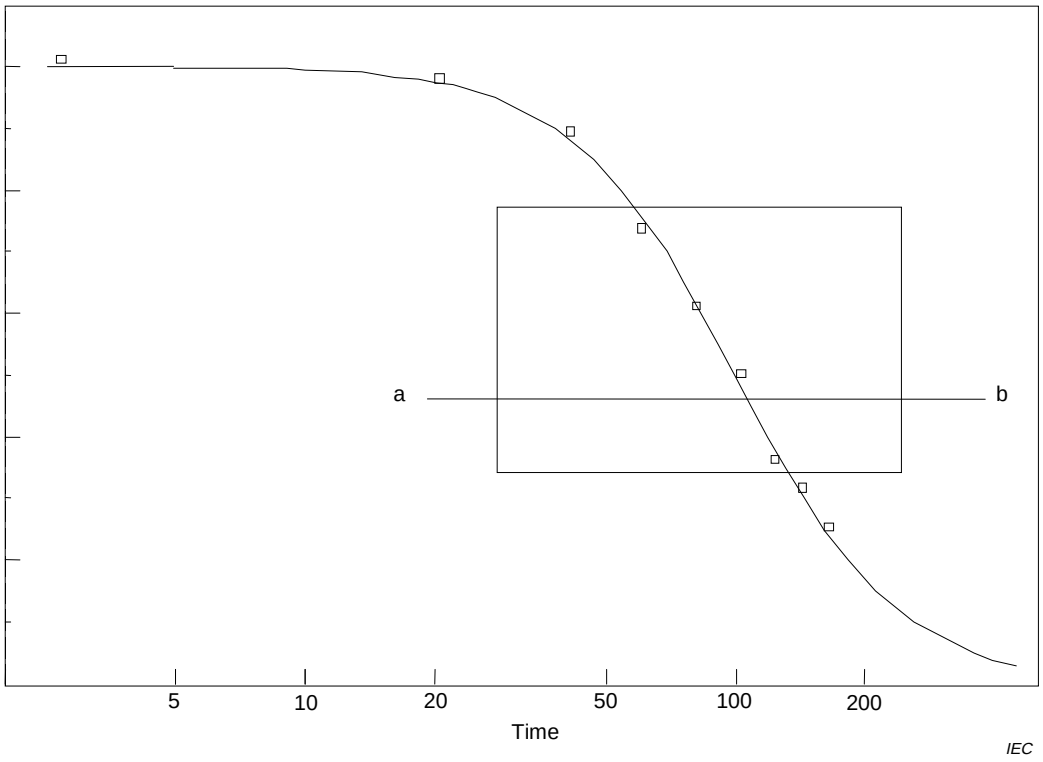


Les détails contenus dans le rectangle sont illustrés à la figure 3.

a ——————————— b Valeur de la propriété jusqu'au point limite

Figure 2 – Estimations des temps jusqu'au point limite – Valeur de la propriété (en ordonnée, unités quelconques) en fonction du temps (en abscisse, échelle logarithmique, unités quelconques)

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

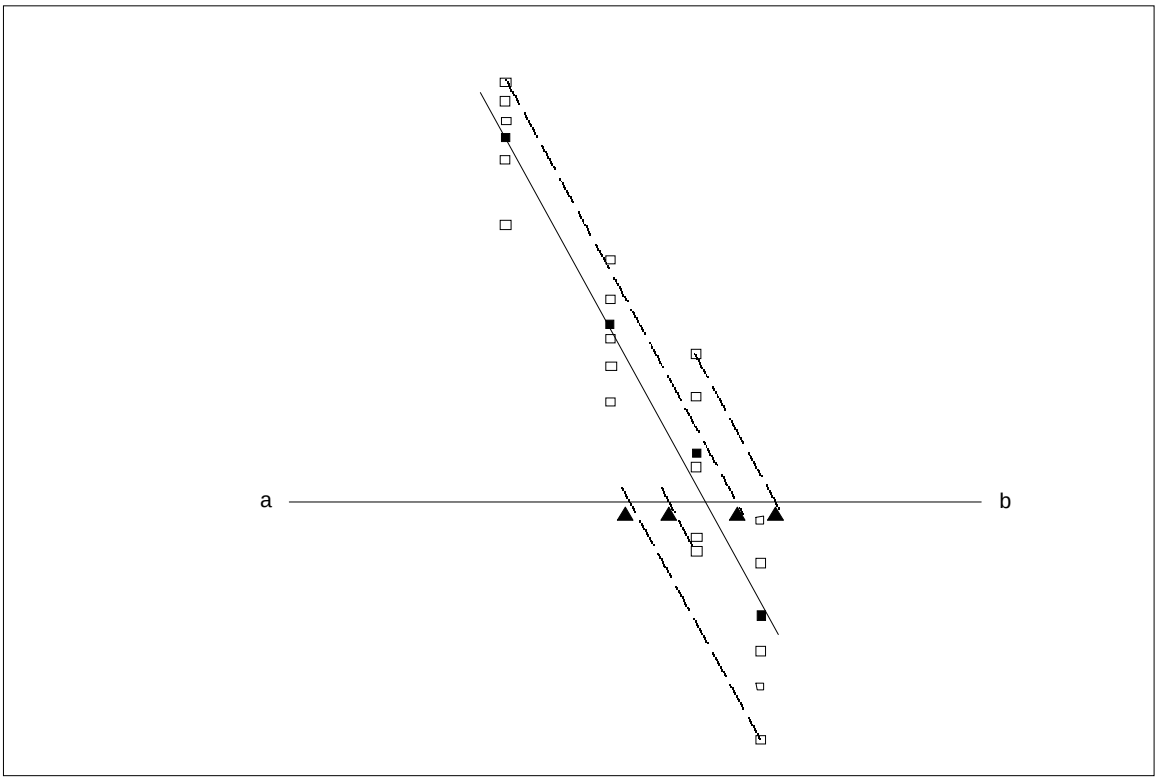


Detail in inset rectangle shown in figure 3.

a ——— b Value of property at end-point

Figure 2 – Estimation of times to end-point – Property value (ordinate, arbitrary units) versus time (abscissa, log scale, arbitrary units)

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale



□ Point de données

■ Valeur moyenne de la propriété du groupe

▲ Pointeur de l'estimation du temps jusqu'au point limite

a _____ b Valeur de la propriété au point limite

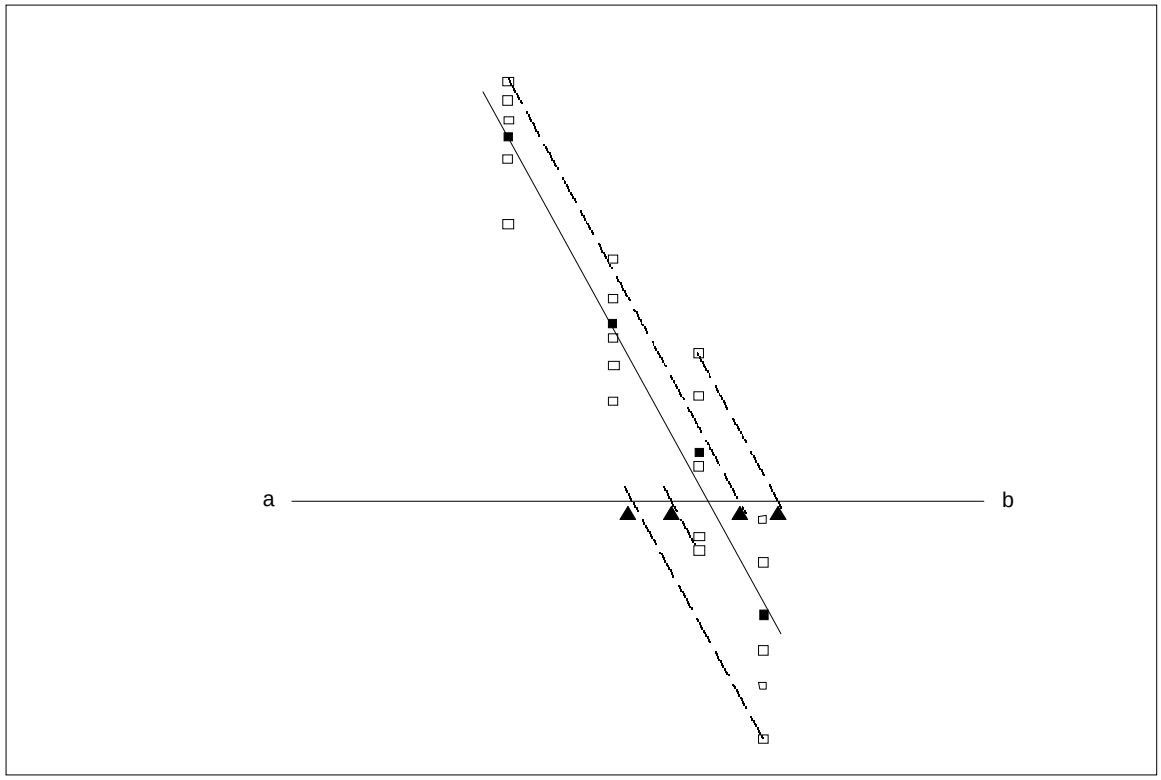
_____ Droite de régression

---------- Droite d'estimation parallèle à la droite de régression

Pour plus de clarté, les droites d'estimation ne sont pas illustrées pour tous les points de données.

Figure 3 – Essais destructifs – Estimation du temps jusqu'au point limite

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale



IEC 1199/01

□ Data point

■ Group mean property value

▲ Pointer to time-to-end-point estimate

a _____ b Value of property at end-point

———— Regression line

---------- Estimating line parallel to regression

For the sake of clarity, estimating lines are not shown for all data points.

Figure 3 – Destructive tests – Estimation of time to end-point

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

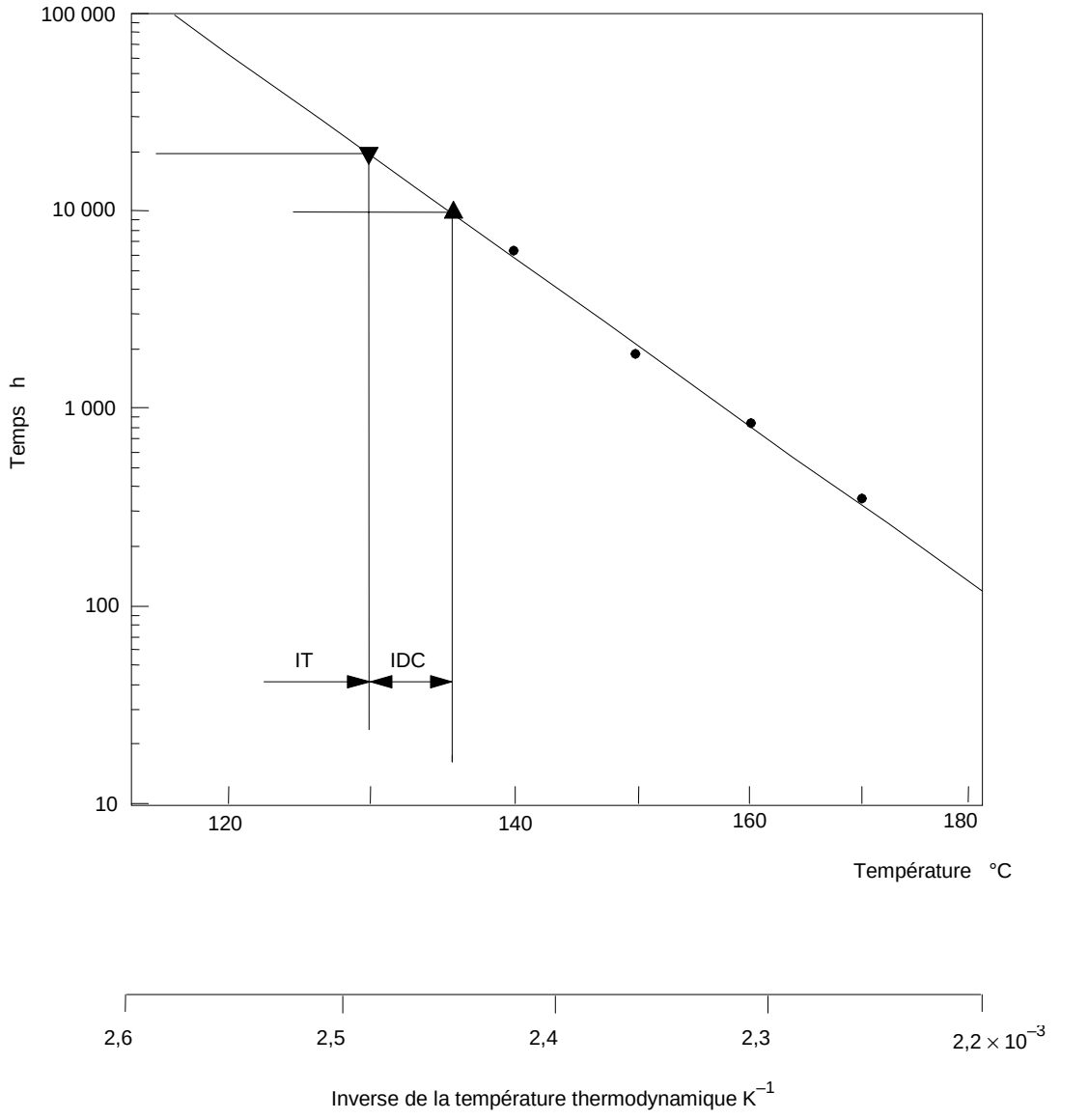


Figure 4 – Graphique d'endurance thermique

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

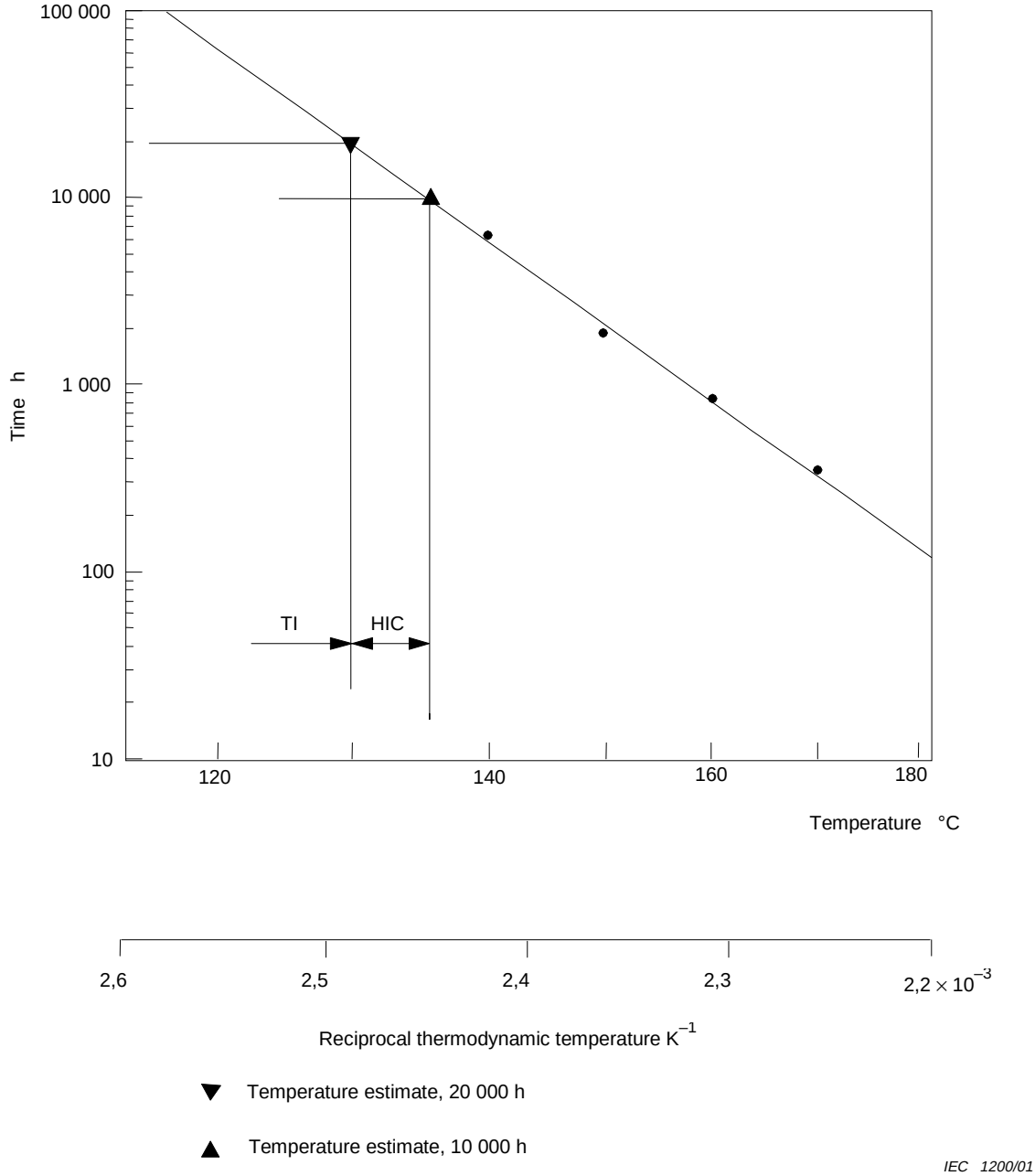


Figure 4 – Thermal endurance graph

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

Annexe A
(informative)

Dispersion et non-linéarité

A.1 Dispersion des données

Les essais concernant l'acceptation de la dispersion des données sont détaillés dans la CEI 60216-3. Une dispersion trop élevée des données a pour conséquence que la limite de confiance inférieure à 95 % pour IT est supérieure à celle qui peut être acceptée, et dans ces circonstances, l'utilité d'une estimation de IT est mise en doute.

Si la dispersion des données n'est pas élevée, en raison d'une technique expérimentale inadaptée, l'effet d'une forte dispersion peut être surmonté par l'utilisation d'un grand nombre de valeurs de données, c'est-à-dire plus d'éprouvettes. Ceci n'implique pas nécessairement de répéter complètement l'expérience, dès lors qu'il est possible (si le matériau est disponible) d'essayer d'autres éprouvettes et d'ajouter les résultats aux données d'origine. Ces essais supplémentaires peuvent être effectués à des températures inférieures ou intermédiaires, mais il ne convient généralement pas que ces températures soient supérieures à celles qui ont été choisies à l'origine.

Dans le cas d'essais d'épreuve avec des données incomplètes (habituellement censurées à la moyenne), il peut être possible d'obtenir une augmentation suffisante de la taille du groupe de données en continuant l'exposition jusqu'à ce que d'autres éprouvettes n'aient pas réussi l'essai d'épreuve.

La dimension de l'intervalle de confiance est grossièrement proportionnelle à la racine carrée de l'inverse du nombre total de valeurs de données.

A.2 Non-linéarité

A.2.1 Mécanismes de dégradation thermique

Le modèle sur lequel se fonde les essais d'endurance thermique des matériaux isolants électriques conformes à cette norme est basé sur le caractère applicable de la théorie concernant la vitesse des processus thermiquement actifs au plan chimique. Ce modèle est valable si le point limite choisi de la propriété de diagnostic est corrélé avec un niveau particulier de modification moléculaire du matériau soumis au vieillissement. La validité du modèle est dès lors non dépendante de la condition la plus contraignante correspondant à une relation linéaire entre le niveau de la propriété de diagnostic et le niveau de variation moléculaire.

En plus de la supposition mentionnée ci-dessus, quelques suppositions générales concernant les mécanismes chimiques du vieillissement thermique doivent être satisfaites.

a) Il convient que le matériau ou la combinaison de matériaux soit uniforme au sens macro-physique.

b) Il convient que la dégradation thermique soit réalisée en une phase homogène.

c) Il convient que la réaction correspondant au vieillissement soit essentiellement irréversible.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Annex A
(informative)

Dispersion and non-linearity

A.1 Data dispersion

Tests for the acceptability of data dispersion are detailed in IEC 60216-3. The consequence of excessively high data dispersion is that the lower 95 % confidence limit of TI is greater than can be accepted, and, in these circumstances, the utility of a TI estimate is dubious.

If the data dispersion is not high through inadequate experimental technique, the effect of the high dispersion can be overcome by the use of a larger number of data values, i.e. more test specimens. This does not necessarily imply a complete repeat of the experimental work, since it is possible (if material is available) to test further specimens and add the results to the original data. These further tests may be at lower or intermediate temperatures but should not generally be at higher temperatures than originally selected.

In the case of proof tests with incomplete data (usually censored at the median), it may be possible to obtain a sufficient increase in data group size by continuing the exposure until further test specimens have failed the proof test.

The size of the confidence interval is roughly proportional to the square root of the reciprocal of the total number of data values.

A.2 Non-linearity

A.2.1 Mechanisms of thermal degradation

The model upon which the thermal endurance testing of electrical insulating materials according to this standard is based is the applicability of the theory of thermally activated chemical rate processes. This model is valid when the selected end-point of the diagnostic property is correlated with a particular degree of molecular change in the material which is subject to ageing. The validity of the model is, therefore, not dependent on the more stringent condition of a linear relationship between the level of the diagnostic property and the degree of molecular change.

In addition to the above-mentioned basic assumption, some general assumptions regarding the chemical mechanisms of the thermal ageing must be satisfied.

a) The material or combination of materials should be uniform in the macro-physical sense.

b) The thermal degradation should proceed in a homogeneous phase.

c) The ageing reaction should be essentially irreversible.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

A.2.2 Non-linéarité des groupes de données

La non-linéarité des données est indiquée par l'échec de l'essai F dans l'évaluation des données, quand au même moment la dispersion est suffisamment importante pour que l'intervalle de confiance du résultat soit supérieur à celui qui est acceptable (voir 6.3 de la CEI 60216-3). Cela peut se produire à cause d'une technique expérimentale inadaptée (par exemple des erreurs de température d'étuve): une telle non-linéarité peut être corrigée par d'autres essais. Cependant, dans beaucoup de cas, les écarts se produisent à cause de la tenue au vieillissement du matériau: ceci se produit pour beaucoup de matériaux thermoplastiques ou d'autres matériaux pour lesquels la gamme des températures de vieillissement est incluse, ou proche, d'une température de transition donnée, ou quand il existe plus d'un mécanisme de vieillissement en cours.

Dans ces cas, il est possible d'obtenir un résultat acceptable avec un autre essai et à une température inférieure. Celle-ci aura comme effet de descendre sur la courbe d'extrapolation, ce qui est un des facteurs pour la détermination de la dimension de l'intervalle de confiance, et rendra également moins importantes les erreurs associées à la non-linéarité.

Il se peut également que des résultats acceptables soient obtenus quand d'autres essais pour des températures plus basses ont été réalisés, en supprimant les résultats aux températures les plus élevées, parce que les écarts peuvent uniquement devenir significatifs pour les températures les plus élevées.

Si ces artifices ne sont pas couronnés de succès, il sera nécessaire d'effectuer l'essai à une température suffisamment basse pour que l'extrapolation ne soit pas requise.

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

A.2.2 Non-linearity of data groups

Non-linearity of data is indicated by failure of the F-test in data evaluation, when at the same time the data dispersion is large enough for the confidence interval of the result to be higher than acceptable (see 6.3 of IEC 60216-3). It may arise from inadequate experimental technique (for example, oven temperature errors); such non-linearity may be corrected by further testing. However, in many cases, the deviations arise from the ageing behaviour of the material; this happens with many thermoplastic materials or other materials where the ageing temperature range includes, or is close to, a transition temperature of some kind, or where there is more than one ageing mechanism at work.

In such cases, it may be possible to obtain an acceptable result by further testing at a lower temperature. This will have the effect of decreasing the extrapolation, which is one of the influences in determining the size of the confidence interval, and also make the errors associated with the non-linearity less serious.

It is also possible that acceptable results will be obtained where further testing at a lower temperature has been carried out by removing the results at the highest temperature(s), since the deviations may only become significant at the higher temperatures.

If these expedients are not successful, it will be necessary to test at a temperature low enough for extrapolation not to be required.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Annexe B
(informative)

Températures et temps d'exposition

Le tableau 1 sert à effectuer le choix des températures de vieillissement et des durées de cycle lors de la planification d'un essai d'endurance thermique. Le rang dans le tableau 1 correspondant à l'indice IT indique les temps de vieillissement suggérés, exprimés en jours pour les températures d'étuve apparaissant en haut de chacune des colonnes. Des résultats précoces de l'essai de vieillissement peuvent justifier un ajustement des cycles de vieillissement ou bien des températures de vieillissement supplémentaires.

Il est judicieux de distinguer entre:

– vieillissement cyclique et vieillissement continu;

– essais destructifs, non destructifs et d'épreuve pour la détermination du niveau de détérioration.

Les recommandations et suggestions suivantes peuvent être considérées comme utiles pour l'établissement des températures et des durées de vieillissement.

B.1 Températures

a) Il convient que la température d'exposition la plus élevée soit celle résultant d'un temps médian jusqu'au point limite compris entre 100 h et 500 h (voir note de 5.5 c).

b) Il convient que les températures d'exposition choisies s'échelonnent à intervalles réguliers, normalement de 20 K, si l'on suppose que se produisent les mêmes mécanismes de vieillissement dans toute la gamme des températures d'essai (voir tableau 1). Si cette règle se traduit par des modifications du mécanisme (par exemple, lors du dépassement d'un point de transformation de fusion ou de ramollissement), il faudra alors limiter la température maximale d'exposition. Dans ces cas, ou si l'on sait ou si l'on suppose que la valeur de IDC sera inférieure à 10 K, il peut être nécessaire que la différence entre les niveaux de température de vieillissement soit réduite, mais pas de moins de 10 K (de façon que les effets de la tolérance sur la température restent acceptables).

c) Le choix des températures d'exposition implique d'estimer ou de connaître préalablement la valeur approximative de l'indice de température du matériau à essayer. Si une telle information n'est pas disponible au départ, des essais de vérifications peuvent être réalisés pour obtenir une prévision concernant la valeur de l'indice IT.

B.2 Temps

B.2.1 Vieillissement cyclique

Pour les essais d'épreuve et non destructifs, il est nécessaire de minimiser les erreurs provoquées par les différences existant lors des manipulations, des essais et des cycles thermiques entre les groupes exposés aux températures choisies. Pour obtenir ceci, choisir la longueur de cycle de façon que le temps moyen ou le temps médian jusqu'au point limite soit atteint en environ 10 cycles, mais pas moins de sept.

Pour les essais non destructifs, même si le tableau 1 suggère des longueurs constantes de cycles, on peut utiliser des temps d'essai variant selon une progression géométrique.

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Annex B
(informative)

Exposure temperatures and times

Table 1 serves for the selection of ageing temperatures and cycle durations when planning a thermal endurance test. The row in table 1 corresponding to the estimated TI shows suggested ageing times in days at oven temperatures which appear at the head of the respective columns. Early results of the ageing test may motivate an adjustment of ageing cycles or additional ageing temperatures.

It is advisable to distinguish between

– cyclic and continuous ageing;
– destructive, non-destructive and proof tests for determination of the degree of deterioration.

The following recommendations and suggestions may be found helpful in establishing the ageing temperatures and times.

B.1 Temperatures

a) The highest exposure temperature should be one which will result in a median time to end-point between 100 h and 500 h (see note to 5.5 c).
b) The chosen exposure temperatures should differ by equal intervals, normally by 20 K, if the entire temperature range of the test is expected to produce the same ageing mechanisms (see table 1). If this rule results in changes of mechanism B for example, when a transformation point like melting or softening is exceeded B then the maximum exposure temperature will need to be limited. In such cases, or if the value of HIC is known or expected to be less than 10 K, the difference between the levels of ageing temperature may need to be reduced, but to not less than 10 K (so that oven temperature tolerance effects will be acceptable).
c) Selection of the exposure temperatures involves estimating or knowing beforehand the approximate value of the temperature index of the material to be tested. If such information is not available, preliminary screening tests may be performed to produce a forecast of the value of TI.

B.2 Times

B.2.1 Cyclic ageing

For proof tests and non-destructive tests, it is necessary to minimize errors caused by differences of handling, testing and thermal cycling between the groups exposed at the selected temperatures. To achieve this, select the cycle length so that the mean or median time to end-point is reached in about 10 cycles but not less than seven.

For non-destructive tests, although table 1 suggests constant cycle lengths, test times following a geometric series may be used.

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

B.2.2 Vieillissement continu

Pour les essais destructifs, le vieillissement de chaque groupe est essayé en continu, et il n'est par conséquent pas nécessaire que les temps moyens jusqu'au point limite, pour des températures de vieillissement différentes, soient approximativement atteints en des temps qui correspondent à des multiples de la longueur des cycles indiqués dans le tableau 1. Cependant il convient que le nombre planifié de groupes d'éprouvettes, pour chaque température (voir 5.3) soit d'au moins cinq, 10 étant préférable si possible. Il convient que l'intervalle de temps entre les essais de groupes soit planifié de façon que les résultats d'au moins deux groupes d'éprouvettes soient disponibles avant le temps moyen jusqu'au point limite, et qu'il y en ait au moins un après: il convient que la vitesse de variation de la propriété en fonction du temps soit dans cet intervalle à peu près linéaire. Voir 6.3.3 et la CEI 60216-3.

B.3 Groupes décalés d'éprouvettes

Une méthode séquentielle peut être justifiée si l'on essaye un matériau inconnu. Dans ces cas, il est souvent adapté de commencer en chargeant l'étuve de vieillissement avec la moitié des éprouvettes préparées et en effectuant les mesures après le deuxième ou troisième cycle d'exposition de la série recommandée. Après quelques cycles, les éprouvettes restantes peuvent être placées dans l'étuve et les points sur la courbe de vieillissement jugés comme nécessaires sont déterminés (courbe de variation de la propriété) (voir figures 1, 2 et 3).

Une méthode séquentielle peut également être justifiée si la précision envisagée de l'évaluation exige que des éprouvettes supplémentaires soient vieillies, par exemple, dans le cas où la relation d'endurance thermique sort du domaine linéaire. Si l'on prend la décision d'étendre le programme d'essai d'origine après la fin de ce programme, la durée de la méthode complète peut devenir excessive. On peut à la place estimer grossièrement la tendance suivie par la relation relative à l'endurance thermique, après le premier ou le second claquage à la température de vieillissement la plus basse du programme d'origine. On peut alors initier le vieillissement à une ou des températures inférieures d'un ou de deux groupes supplémentaires d'éprouvettes, si l'on envisage une non-linéarité, afin d'obtenir des données d'essai complet dans des limites de temps encore acceptables.

Une méthode qui s'est révélée fréquemment très utile implique d'introduire avec retard des groupes d'essai en respectant la séquence du tableau B.1 ci-dessous.

Cet exemple est basé sur neuf groupes d'essai identifiés par A, B, C, D, E, F, G, H, I qui sont exposés à une température.

Cinq de ces groupes d'essai sont placés dans l'étuve en début de séquence. Après des décalages successifs (voir tableau B.1, note [a] ci-dessous), sont ajoutés trois autres groupes.

--`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

B.2.2 Continuous ageing

For destructive tests, the ageing of each tested group is continuous, and it is therefore not necessary that the mean times to end-point at the different ageing temperatures be reached in approximately equal multiples of the cycle lengths given in table 1. However, the planned number of groups of specimens at each temperature (see 5.3) should be at least five, 10 being preferred, if possible. The time interval between tests of groups should be planned so that the results of at least two groups of specimens are available before the mean time to end-point, and at least one after: the rate of change of property with time in this interval should be reasonably linear. See 6.3.3 and IEC 60216-3.

B.3 Delayed groups of specimens

A sequential procedure may be justified when an unknown material is tested. In such cases it is often convenient to start by loading the ageing oven with one-half of the prepared specimens and performing measurements after the second or third exposure cycle of the recommended series. After a few cycles, the remaining specimens can be placed in the oven and the points on the ageing curve (property variation curve) (see figures 1, 2 and 3), which are deemed necessary, determined.

A sequential procedure may also be justified where the envisaged accuracy of the evaluation requires additional specimens to be aged, for example, in the case where the thermal endurance relationship turns out to be non-linear. If the decision to extend the original test programme is taken after its completion, the duration of the complete procedure may become prohibitive. Instead, the trend of the thermal endurance relationship may be roughly estimated after the first or second failure at the lowest ageing temperature of the original programme. Ageing at lower temperature(s) of one or two additional group(s) of specimens in case of suspected non-linearity can then be initiated immediately to produce the complete test data within a time limit which is still acceptable.

A procedure which has frequently been found very useful involves the delayed introduction of test groups following the sequence in the table B.1 below.

This example is based on nine test groups identified as A, B, C, D, E, F, G, H, I being exposed at one temperature.

Five of the test groups are placed in the oven at the beginning of the sequence. After successive delays (see table B.1, note [a] below), three further groups are added.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Les groupes sont essayés comme cela est indiqué dans le tableau.

Tableau B.1 – Groupes

Début de cycle	Groupes à charger dans l'étuve de vieillissement	Retrait de l'étuve et groupes d'essai
1	B C D E F	A (non vieillie)
2[a]	G	
3[a]	H	
4[a]	I	
5		B
9		C
13		D
17		E
21		F

[a] Décalé après le début du cycle d'un temps égal à la somme du temps de conditionnement et du temps mis pour essayer un groupe.

Si le point limite n'a pas été atteint après l'essai du groupe F, les groupes G à I peuvent être essayés après un autre vieillissement approprié.

Si le point limite a été atteint pour un des groupes B à F, les groupes G à I sont immédiatement retirés de l'étuve et essayés après conditionnement. Si, par exemple, le groupe C a atteint le point limite (neuf cycles), les groupes G, H, I ont reçu respectivement six, sept et huit cycles au moment de l'essai. De cette manière la quantité totale d'essais est diminuée, sans perdre en discrimination.

Ces valeurs sont uniquement données à titre d'exemple, et peuvent être modifiées selon les travaux en cours.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Groups are tested as indicated in the table.

Table B.1 – Groups

Start of cycle	Groups to be loaded into ageing oven	Remove from oven and test groups
1	B C D E F	A (unaged)
2[a]	G	
3[a]	H	
4[a]	I	
5		B
9		C
13		D
17		E
21		F

[a] Delayed after start of cycle by a time equal to the sum of the conditioning time and the time taken for testing a group.

If the end-point has not been reached after the testing of Group F, Groups G-I may be tested after appropriate further ageing.

If end-point is reached in one of the Groups B-F, Groups G-I are immediately removed from the oven and tested after conditioning. If, for example, Group C has reached end-point (nine cycles), Groups G, H and I would have received respectively six, seven and eight cycles at testing. In this way, the total amount of testing is reduced, without loss of discrimination.

These values are intended solely as illustration and may be changed as the work requires.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Annexe C
(informative)

Concepts existant dans les éditions précédentes

C.1 Indice de température relatif (IRT)

L'indice relatif de température a été défini dans la quatrième édition de la CEI 60216-1, comme suit:

«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)».

En obtenant l'indice IDC, les erreurs systématiques observées dans la détermination de l'indice IT sont dans une large mesure compensées. Cette caractéristique a maintenant fait l'objet d'une nouvelle norme indépendante (en préparation).

NOTE 1 La figure C.1 était la figure 3 de la quatrième édition.

NOTE 2 La définition précédente n'est pas strictement compatible avec la figure, et de même elle diffère légèrement de la définition existante dans la seconde édition.

C.2 Profil d'endurance thermique (PET)

Le profil d'endurance thermique a été introduit dans la seconde édition de la CEI 60216-1 [1)]. Il a été défini comme suit:

«Le profil d'endurance thermique se compose de deux nombres égaux aux températures exprimées en degrés Celsius qui correspondent sur le graphique d'endurance thermique à 20 000 h et 5 000 h; ces deux nombres sont suivis d'un nombre correspondant à la limite inférieure unilatérale de confiance à 95 % sur la température au niveau de 5 000 h».

Ce profil a été supprimé de la quatrième édition de la CEI 60216-1, de façon que l'intervalle de division par deux puisse être indiqué explicitement sans confusion, et car on a considéré que la valeur réelle d'une limite de confiance plus basse n'était pas une caractéristique très utile à citer pour un matériau. On a considéré qu'il était beaucoup plus important de pouvoir garantir que la différence existant entre l'indice IT calculé et sa limite inférieure de confiance soit inférieure à une valeur spécifiée.

---

1) CEI 60216-1:1974, *Guide pour la détermination des propriétés d'endurance thermique de matériaux isolants électriques – Première partie: Méthodes générales pour la détermination des propriétés d'endurance thermique, des indices de température et des profiles d'endurance thermique*

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---
Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Annex C
(informative)

Concepts in earlier editions

C.1 Relative temperature index (RTI)

The relative temperature index was defined in the fourth edition of IEC 60216-1 as follows:

"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)".

In obtaining the RTI, the systematic errors observed in the determination of TI are to a large extent compensated. The characteristic has now been made the subject of a new, independent standard (in preparation).

NOTE 1 Figure 3 of the fourth edition is shown here as figure C.1.

NOTE 2 The above definition is not strictly compatible with the figure and also differs slightly from the definition in the second edition.

C.2 Thermal endurance profile (TEP)

The thermal endurance profile was introduced in the second edition of IEC 60216-1 [1)] and defined as follows:

"The thermal endurance profile consists of the two numbers corresponding to the temperatures in degrees Celsius derived from the thermal endurance graph at 20 000 h and 5 000 h, followed by a number corresponding to the lower 95 % unilateral confidence limit on the temperature at 5 000 h."

It was deleted from IEC 60216-1 in the fourth edition, so that the halving interval could be stated explicitly without confusion, and because it was felt that the actual value of a lower confidence limit was not a very useful characteristic to be quoted for a material. It was felt to be much more important that assurance could be given that the difference between the calculated TI and its lower confidence limit was less than a specified value.

1) IEC 60216-1:1974, *Guide for the determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials – Part 1: General procedures for the determination of thermal endurance properties, temperature indices and thermal endurance profiles*

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

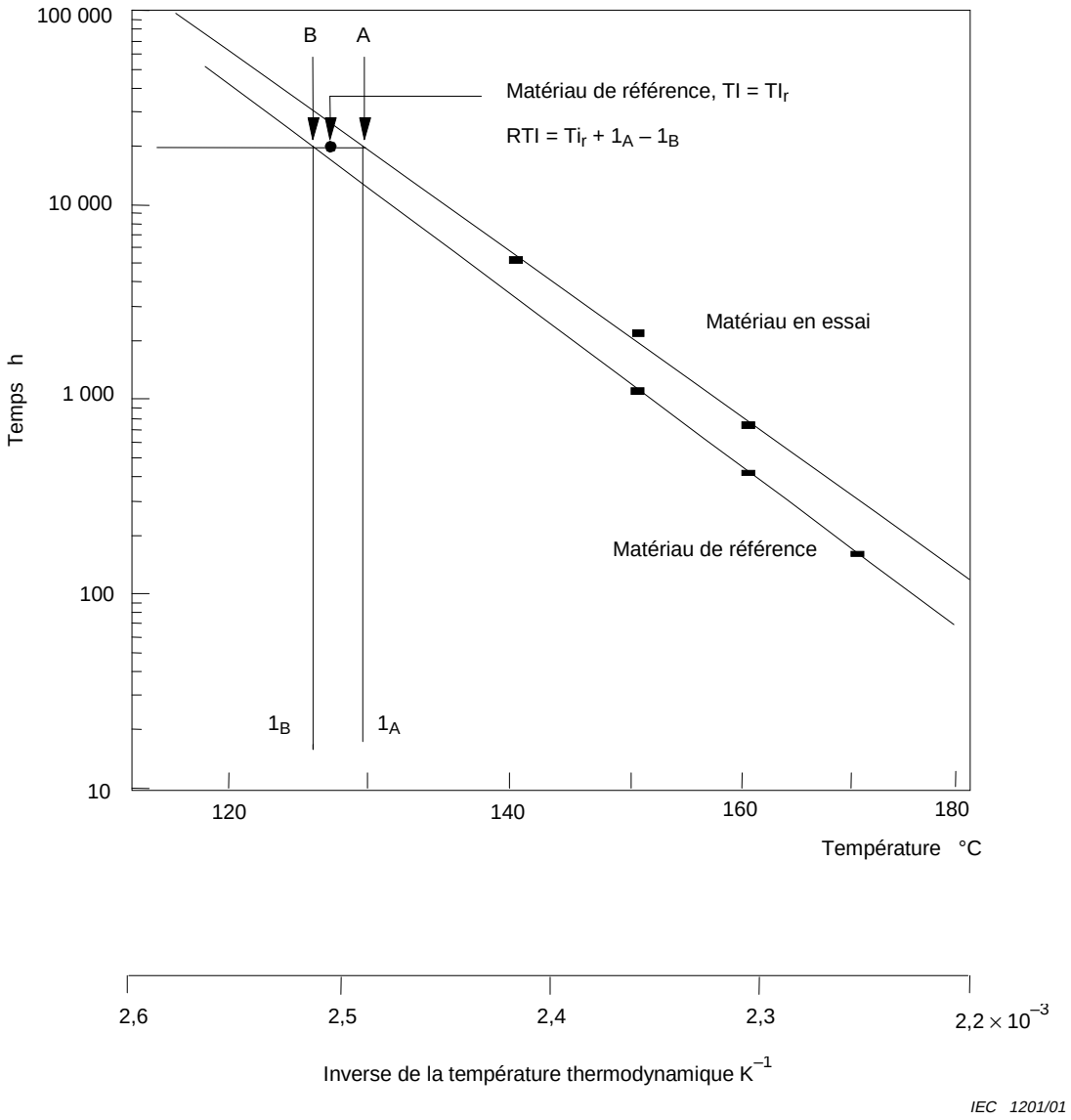


Figure C.1 – Indice relatif de température
(Tiré de la CEI 60216-1, 4e édition, figure 3)

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

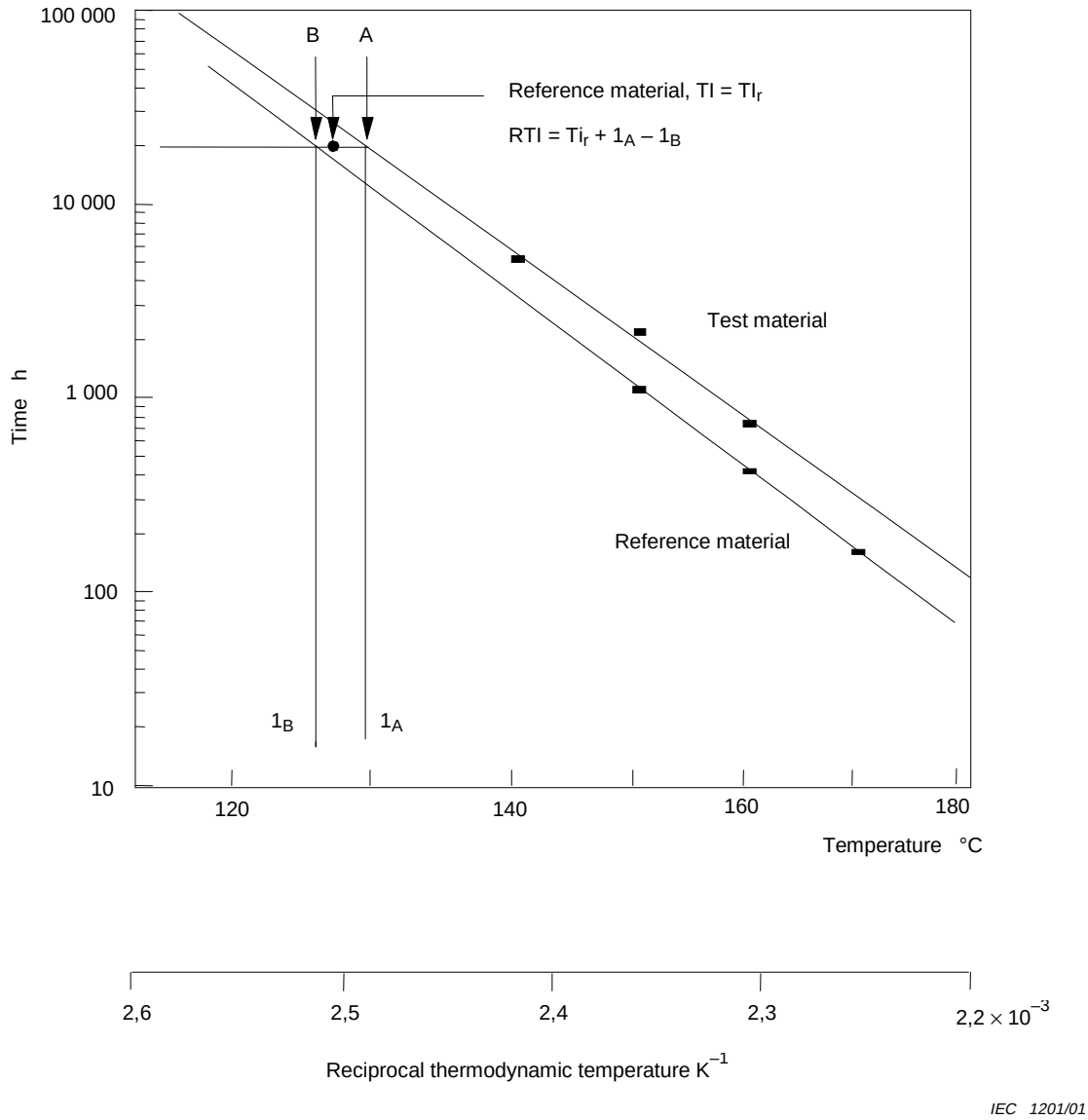


Figure C.1 – Relative temperature index
(Adapted from IEC 60216-1, 4th edition, figure 3)

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

Standards Survey

The IEC would like to offer you the best quality standards possible. To make sure that we continue to meet your needs, your feedback is essential. Would you please take a minute to answer the questions overleaf and fax them to us at +41 22 919 03 00 or mail them to the address below. Thank you!

Customer Service Centre (CSC)

International Electrotechnical Commission
3, rue de Varembé
1211 Genève 20
Switzerland

or

Fax to: **IEC**/CSC at +41 22 919 03 00

Thank you for your contribution to the standards-making process.

A Prioritaire

Nicht frankieren
Ne pas affranchir

Non affrancare
No stamp required

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Customer Service Centre (CSC)
International Electrotechnical Commission
3, rue de Varembé
1211 GENEVA 20
Switzerland

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

Q1 Please report on **ONE STANDARD** and **ONE STANDARD ONLY**. Enter the exact number of the standard: *(e.g. 60601-1-1)*

.....

Q2 Please tell us in what capacity(ies) you bought the standard *(tick all that apply).* I am the/a:

purchasing agent ❑
librarian ❑
researcher ❑
design engineer ❑
safety engineer ❑
testing engineer ❑
marketing specialist ❑
other.....

Q3 I work for/in/as a: *(tick all that apply)*

manufacturing ❑
consultant ❑
government ❑
test/certification facility ❑
public utility ❑
education ❑
military ❑
other.....

Q4 This standard will be used for: *(tick all that apply)*

general reference ❑
product research ❑
product design/development ❑
specifications ❑
tenders ❑
quality assessment ❑
certification ❑
technical documentation ❑
thesis ❑
manufacturing ❑
other.....

Q5 This standard meets my needs: *(tick one)*

not at all ❑
nearly ❑
fairly well ❑
exactly ❑

Q6 If you ticked NOT AT ALL in Question 5 the reason is: *(tick all that apply)*

standard is out of date ❑
standard is incomplete ❑
standard is too academic ❑
standard is too superficial ❑
title is misleading ❑
I made the wrong choice ❑
other .....

Q7 Please assess the standard in the following categories, using the numbers:
(1) unacceptable,
(2) below average,
(3) average,
(4) above average,
(5) exceptional,
(6) not applicable

timeliness.....
quality of writing.....
technical contents.....
logic of arrangement of contents .....
tables, charts, graphs, figures.....
other .....

Q8 I read/use the: *(tick one)*

French text only ❑
English text only ❑
both English and French texts ❑

Q9 Please share any comment on any aspect of the IEC that you would like us to know:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

Enquête sur les normes

La CEI ambitionne de vous offrir les meilleures normes possibles. Pour nous assurer que nous continuons à répondre à votre attente, nous avons besoin de quelques renseignements de votre part. Nous vous demandons simplement de consacrer un instant pour répondre au questionnaire ci-après et de nous le retourner par fax au +41 22 919 03 00 ou par courrier à l'adresse ci-dessous. Merci !

Centre du Service Clientèle (CSC)

Commission Electrotechnique Internationale
3, rue de Varembé
1211 Genève 20
Suisse

ou

Télécopie: **CEI**/CSC +41 22 919 03 00

Nous vous remercions de la contribution que vous voudrez bien apporter ainsi à la Normalisation Internationale.

Nicht frankieren
Ne pas affranchir

Non affrancare
No stamp required

A Prioritaire

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Centre du Service Clientèle (CSC)
Commission Electrotechnique Internationale
3, rue de Varembé
1211 GENÈVE 20
Suisse

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS

Not for Resale

Q1 Veuillez ne mentionner qu'**UNE SEULE NORME** et indiquer son numéro exact: (*ex. 60601-1-1)*

.....

Q2 En tant qu'acheteur de cette norme, quelle est votre fonction?
(cochez tout ce qui convient)
Je suis le/un:

agent d'un service d'achat ❑
bibliothécaire ❑
chercheur ❑
ingénieur concepteur ❑
ingénieur sécurité ❑
ingénieur d'essais ❑
spécialiste en marketing ❑
autre(s).....

Q3 Je travaille:
(cochez tout ce qui convient)

dans l'industrie ❑
comme consultant ❑
pour un gouvernement ❑
pour un organisme d'essais/ certification ❑
dans un service public ❑
dans l'enseignement ❑
comme militaire ❑
autre(s).....

Q4 Cette norme sera utilisée pour/comme
(cochez tout ce qui convient)

ouvrage de référence ❑
une recherche de produit ❑
une étude/développement de produit ❑
des spécifications ❑
des soumissions ❑
une évaluation de la qualité ❑
une certification ❑
une documentation technique ❑
une thèse ❑
la fabrication ❑
autre(s).....

Q5 Cette norme répond-elle à vos besoins:
(une seule réponse)

pas du tout ❑
à peu près ❑
assez bien ❑
parfaitement ❑

Q6 Si vous avez répondu PAS DU TOUT à Q5, c'est pour la/les raison(s) suivantes:
(cochez tout ce qui convient)

la norme a besoin d'être révisée ❑
la norme est incomplète ❑
la norme est trop théorique ❑
la norme est trop superficielle ❑
le titre est équivoque ❑
je n'ai pas fait le bon choix ❑
autre(s) .....

Q7 Veuillez évaluer chacun des critères ci-dessous en utilisant les chiffres
(1) inacceptable,
(2) au-dessous de la moyenne,
(3) moyen,
(4) au-dessus de la moyenne,
(5) exceptionnel,
(6) sans objet

publication en temps opportun .....
qualité de la rédaction.....
contenu technique .....
disposition logique du contenu .....
tableaux, diagrammes, graphiques, figures.....
autre(s) .....

Q8 Je lis/utilise: *(une seule réponse)*

uniquement le texte français ❑
uniquement le texte anglais ❑
les textes anglais et français ❑

Q9 Veuillez nous faire part de vos observations éventuelles sur la CEI:

.....
.....
.....
.....
.....
.....

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

ISBN 2-8318-5926-3



ICS 17.220.99, 29.035.01

Typeset and printed by the IEC Central Office
GENEVA, SWITZERLAND

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS

Not for Resale