NORME INTERNATIONALE

INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
60216-6

Deuxième édition
Second edition
2006-05

Matériaux isolants électriques –
Propriétés d'endurance thermique –

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

Electrical insulating materials –
Thermal endurance properties –

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



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60216-6:2006

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

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

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

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

Publication numbering

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

Consolidated editions

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

Further information on IEC publications

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

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

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

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

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

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

.

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
60216-6

Deuxième édition
Second edition
2006-05

Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique –

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

Electrical insulating materials – Thermal endurance properties –

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

© IEC 2006 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

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

Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE X

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

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

1 Domaine d'application 10
2 Références normatives 10
3 Termes, définitions, symboles et abréviations 12
3.1 Termes, abréviations et définitions 12
3.2 Symboles et termes abrégés 18
4 Protocole FTFM 20
4.1 Principes et objectifs 20
5 Détermination de TI 22
5.1 Méthodes de vieillissement 22
5.2 Durées et températures de vieillissement 22
5.3 Eprouvettes d'essai 24
5.4 Essais de diagnostic 26
5.5 Choix des fins de vie 26
5.6 Etablissement de valeur de propriété initiale 28
5.7 Conditions de vieillissement 28
5.8 Méthode de vieillissement 28
6 Méthodes de calcul 30
6.1 Principes généraux 30
6.2 Précision des calculs 32
6.3 Dérivation des températures équivalentes aux valeurs de propriété 32
6.4 Analyse de régression (température en fonction du temps) 38
6.5 Essais statistiques 42
6.6 Graphique d'endurance thermique 46
7 Calcul et exigences pour résultats 46
7.1 Calcul des caractéristiques d'endurance thermique 46
7.2 Ecriture des résultats 48
8 Rapport 48
9 Détermination du RTE 50
9.1 Objectifs de la détermination du RTE 50
10 Symboles additionnels 50
11 Méthodes expérimentales 52
11.1 Choix du matériau de contrôle 52
11.2 Choix d'un essai de diagnostic pour l'importance du vieillissement 52
11.3 Méthodes de vieillissement 52
12 Méthodes de calcul 52
12.1 Principes généraux 52
12.2 Données d'entrée 54
12.3 RTE 54
12.4 Limites de confiance 54
12.5 Extrapolation 58

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

1 Scope 11
2 Normative references 11
3 Terms, definitions, symbols and abbreviated terms 13
3.1 Terms, abbreviations and definitions 13
3.2 Symbols and abbreviated terms 19
4 FTFM protocol 21
4.1 Principles and objectives 21
5 TI determination 23
5.1 Ageing procedures 23
5.2 Ageing times and temperatures 23
5.3 Test specimens 25
5.4 Diagnostic tests 27
5.5 Selection of end-points 27
5.6 Establishment of initial property value 29
5.7 Ageing conditions 29
5.8 Procedure for ageing 29
6 Calculation procedures 31
6.1 General principles 31
6.2 Precision of calculations 33
6.3 Derivation of temperatures equivalent to property values 33
6.4 Regression analysis (temperature on time) 39
6.5 Statistical tests 43
6.6 Thermal endurance graph 47
7 Calculation and requirements for results 47
7.1 Calculation of thermal endurance characteristics 47
7.2 Reporting of results 49
8 Report 49
9 RTE determination 51
9.1 Objectives of RTE determination 51
10 Additional symbols 51
11 Experimental procedures 53
11.1 Selection of control material 53
11.2 Selection of diagnostic test for extent of ageing 53
11.3 Ageing procedures 53
12 Calculation procedures 53
12.1 General principles 53
12.2 Input data 55
12.3 RTE 55
12.4 Confidence limits 55
12.5 Extrapolation 59

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

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

13 Résultats et rapport 58
13.1 Résultats des essais statistiques et numériques 58
13.2 Résultats 58
13.3 Rapport 60

Annexe A (normative) Organigramme de décision 62
Annexe B (normative) Tableau de décision 64
Annexe C (informative) Tableaux statistiques 66
Annexe D (informative) Durées et températures de vieillissement suggérées 72
Annexe E (informative) Figures 76
Annexe F (normative) Signification statistique de la différence entre deux estimations de régression 82
Annexe G (informative) Programmes informatiques pour la CEI 60216-6 84

Figure E.1 – Graphique de la propriété en fonction de la température avec droite de régression 76
Figure E.2 – Graphique d'endurance thermique 76
Figure E.3 – Durées de vieillissement en fonction des températures en relation avec l'endurance thermique 78
Figure E.4 – Durées de vieillissement en fonction des températures en relation avec l'endurance thermique 78
Figure E.5 – Durées de vieillissement en fonction des températures en relation avec l'endurance thermique 80
Figure G.1 − Graphique d'endurance thermique 94

Tableau B.1 − Tableau de décision 64
Tableau C.1 – Fonction χ^2 66
Tableau C.2 – Fonction *t* 66
Tableau C.3 – Fonction *F*, *P* = 0,05 68
Tableau C.4 – Fonction *F*, *P* = 0,005 70

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

13 Results and report 59
13.1 Results of statistical and numerical tests 59
13.2 Result 59
13.3 Report 61

Annex A (normative) Decision flow chart 63
Annex B (normative) Decision table 65
Annex C (informative) Statistical tables 67
Annex D (informative) Suggested ageing times and temperatures 73
Annex E (informative) Figures 77
Annex F (normative) Statistical significance of the difference between two regression estimates 83
Annex G (informative) Computer programs for IEC 60216-6 85

Figure E.1 – Property-temperature graph with regression line 77
Figure E.2 – Thermal endurance graph 77
Figure E.3 – Ageing times and temperatures in relation to thermal endurance graph 79
Figure E.4 – Ageing times and temperatures in relation to thermal endurance graph 79
Figure E.5 – Ageing times and temperatures in relation to thermal endurance graph 81
Figure G.1 − Thermal endurance graph 95

Table B.1 − Decision table 65
Table C.1 – χ^2-Function 67
Table C.2– *t*–Function 67
Table C.3 – *F*-function, *P* = 0,05 69
Table C.4 – *F*-function, *P* = 0,005 71

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

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 60216-6 a été établie par le comité d'études 112 de la CEI: Evaluation et quantification des matériels et des systèmes d'isolation électrique.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition, publiée en 2003. Cette édition constitue une révision technique.

Par rapport à l'édition précédente, les modifications techniques majeures sont les suivantes.

− Cette édition a été complétée par l'Annexe G et le logiciel correspondant.

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 – THERMAL ENDURANCE PROPERTIES –

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

FOREWORD

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

International Standard IEC 60216-6 has been prepared by IEC technical committee 112: Evaluation and qualification of electrical insulating materials and systems.

This second edition cancels and replaces the first edition, published in 2003. This edition constitutes a technical revision.

The significant technical changes with respect to the previous edition are as follows.

− This new edition has been supplemented by Annex G and the corresponding software.

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

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
112/28/FDIS	112/32/RVD

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

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

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

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

Partie 2: Détermination des propriétés d'endurance thermique de matériaux isolants électriques – Choix de critères d'essai

Partie 3: Instructions pour le calcul des caractéristiques d'endurance thermique

Partie 4: Etuves de vieillissement

Partie 5: Détermination de l'indice d'endurance thermique relatif (RTE) d'un matériau isolant

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

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

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

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

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

FDIS	Report on voting
112/28/FDIS	112/32/RVD

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

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

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

Part 1: Ageing procedures and evaluation of test results

Part 2: Determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials – Choice of test criteria

Part 3: Instructions for calculating thermal endurance characteristics

Part 4: Ageing ovens

Part 5: Determination of relative thermal endurance index (RTE) of an insulating material

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

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

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

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

1 Domaine d'application

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

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

Les essais de diagnostic employés dans la méthode de trame de durées fixes sont limités aux essais destructifs. La méthode n'a pas encore été appliquée aux essais non destructifs ni aux procédures d'essais d'épreuves.

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

2 Références normatives

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

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

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

CEI 60216-2, *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique – Partie 2: Détermination des propriétés d'endurance thermique de matériaux isolants électriques – Choix de critères d'essai*

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

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

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 – THERMAL ENDURANCE PROPERTIES –

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

1 Scope

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

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

The diagnostic tests employed in the fixed time frame method are restricted to destructive tests. The method has not as yet been applied to non-destructive or proof test procedures.

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

2 Normative references

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

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

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

IEC 60216-2, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 2: Determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials – Choice of test criteria*

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

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

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

CEI 60216-4-1, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 4-1: Ageing ovens – Single-chamber ovens*

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

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

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

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

3 Termes, définitions, symboles et abréviations

Pour les besoins du présent document, les termes, définitions, symboles et abréviations suivants s'appliquent.

3.1 Termes, abréviations et définitions

3.1.1
indice d'endurance thermique évaluée
ATE
valeur numérique de la température en degrés Celsius, jusqu'à laquelle le matériau de contrôle possède des aptitudes en service connues et satisfaisantes dans l'application spécifiée

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

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

3.1.2
température de vieillissement
température, exprimée en degrés Celsius, à laquelle un groupe d'éprouvettes est vieilli thermiquement

3.1.3
température de fin de vie
température, exprimée en degrés Celsius, à laquelle une éprouvette est considérée comme ayant atteint sa fin de vie après avoir vieilli pendant une durée spécifiée

3.1.4
matériau candidat
matériau pour lequel il est requis de réaliser une estimation de l'endurance thermique

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

3.1.5
moment centré d'ordre 2 d'un groupe de données
somme des carrés des différences entre les valeurs des données et la valeur de la moyenne du groupe divisée par le nombre de données dans le groupe

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

IEC 60216-4-1, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 4-1: Ageing ovens – Single-chamber ovens*

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

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

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

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

3 Terms, definitions, symbols and abbreviated terms

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

3.1 Terms, abbreviations and definitions

3.1.1
assessed thermal endurance index
ATE
numerical value of the temperature in degrees Celsius, up to which the control material possesses known, satisfactory service performance in the specified application

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

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

3.1.2
ageing temperature
temperature in degrees Celsius at which a group of specimens is thermally aged

3.1.3
end-point temperature
temperature in degrees Celsius at which a specimen is considered to have reached end-point after ageing for a specified time

3.1.4
candidate material
material for which an estimate of the thermal endurance is required to be determined

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

3.1.5
central second moment of a data group
sum of the squares of the differences between the data values and the value of the group mean divided by the number of data in the group

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

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

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

3.1.7
matériau de contrôle
matériau à l'indice d'endurance thermique évaluée (ATE) connu, de préférence déduit de l'expérience en service, utilisé comme référence pour des essais comparatifs avec le matériau candidat

3.1.8
coefficient de corrélation
nombre exprimant l'intégrité de la relation entre les membres de deux ensembles de données, égal à la covariance divisée par la racine carrée du produit des variances des ensembles

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

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

3.1.9
temps de corrélation (RTE)
durée estimée jusqu'en fin de vie du matériau de contrôle obtenue pour une température en degrés Celsius égale à son ATE

3.1.10
temps de corrélation (TI)
durée hypothétique jusqu'en fin de vie utilisée pour calculer TI

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

3.1.11
covariance (d'ensembles de données)
pour deux ensembles de données ayant un nombre égal d'éléments, chaque élément d'un ensemble correspondant à un élément de l'autre ensemble, somme des produits des écarts types des membres correspondants par rapport à leurs moyennes d'ensemble, divisée par le nombre de degrés de liberté

3.1.12
degrés de liberté
nombre de valeurs de données moins le nombre de valeurs de paramètres

3.1.13
essai destructif
essai de propriété diagnostic dans lequel l'éprouvette est irrémédiablement altérée par la mesure de propriété, excluant ainsi toute possibilité de répéter la mesure sur le même échantillon

NOTE La mesure de la rigidité diélectrique est un exemple d'essai destructif. La mesure de tg δ est un exemple d'essai non destructif.

3.1.14
droite de fin de vie
droite parallèle à l'axe des températures coupant l'axe des propriétés au point de fin de vie

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

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

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

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

3.1.7
control material
material with known assessed thermal endurance index (ATE), preferably derived from service experience, used as a reference for comparative tests with the candidate material

3.1.8
correlation coefficient
number expressing the completeness of the relation between members of two data sets, equal to the covariance divided by the square root of the product of the variances of the sets

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

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

3.1.9
correlation time (RTE)
estimated time to end-point of the control material at a temperature equal to its ATE in degrees Celsius

3.1.10
correlation time (TI)
hypothetical time to end-point used to calculate TI

NOTE Its usual value is 20 000 h.

3.1.11
covariance (of data sets)
for two sets of data with equal numbers of elements where each element in one set corresponds to one in the other, sum of the products of the deviations of the corresponding members from their set means, divided by the number of degrees of freedom

3.1.12
degrees of freedom
number of data values minus the number of parameter values

3.1.13
destructive test
diagnostic property test, where the test specimen is irreversibly changed by the property measurement, in a way which precludes a repeated measurement on the same specimen

NOTE An example of a destructive test is measurement of electric strength. An example of a non-destructive test is measurement of tg δ.

3.1.14
end-point line
line parallel to the temperature axis intercepting the property axis at the end-point value

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

3.1.16
analyse de régression
processus de déduction de la meilleure droite exprimant la relation entre les membres correspondants de deux groupes de données en minimisant la somme des carrés des écarts types de l'un des groupes à partir de la droite

3.1.17
coefficients de régression
coefficients de l'équation de la meilleure droite déduite par l'analyse de régression

3.1.18
indice d'endurance thermique relative
RTE
estimation de l'endurance thermique du matériau candidat faite par vieillissement thermique du matériau candidat et simultanément du matériau de contrôle, comme décrit dans la présente norme

NOTE La valeur du RTE est la valeur de la température exprimée en degrés Celsius pour laquelle la durée estimée jusqu'en fin de vie du matériau candidat est la même que la durée estimée jusqu'en fin de vie du matériau de contrôle obtenue pour une température égale à son ATE.

3.1.19
signification statistique
probabilité d'une valeur d'une fonction statistique supérieure à une valeur spécifiée

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

3.1.20
écart type
racine carrée de la variance d'un groupe ou d'un sous-groupe de données

3.1.21
erreur type d'une estimation de la vraie valeur d'une propriété d'un groupe de données
valeur de l'écart type de la population échantillon supposée pour laquelle la propriété du groupe peut être considérée comme membre de ce groupe

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

3.1.22
indice de température
TI
valeur numérique de la température, en degrés Celsius, obtenue à partir de la relation d'endurance thermique pour une durée de 20 000 h (ou pour une autre durée spécifiée)

3.1.23
groupe de températures (des éprouvettes)
nombre d'éprouvettes étant exposées ensemble au vieillissement thermique à la même température dans la même étuve

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

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

3.1.16
regression analysis
process of deducing the best fit line expressing the relation of corresponding members of two data groups by minimizing the sum of squares of deviations of members of one of the groups from the line

3.1.17
regression coefficients
coefficients of the equation of the best fit line derived by regression analysis

3.1.18
relative thermal endurance index
RTE
estimate of the thermal endurance of a candidate material, made by thermal ageing simultaneously with the control material, as described in this standard

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

3.1.19
significance
probability of a value of a statistical function greater than a specified value

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

3.1.20
standard deviation
square root of the variance of a data group or sub-group

3.1.21
standard error of an estimate of the true value of a data group property
value of the standard deviation of the hypothetical sampling population of which the group property may be considered to be a member

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

3.1.22
temperature index
TI
numerical value of the temperature in degrees Celsius derived from the thermal endurance relationship at a time of 20 000 h (or other specified time)

3.1.23
temperature group (of specimens)
number of specimens being exposed together to thermal ageing at the same temperature in the same oven

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

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

3.1.24
groupe d'essai (des éprouvettes)
nombre d'éprouvettes retirées ensemble d'un groupe des températures pour être soumises à l'essai destructif

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

3.1.25
graphique d'endurance thermique
graphique dans lequel le logarithme du temps pour atteindre une fin de vie spécifiée dans un essai d'endurance thermique est tracé en fonction de la température d'essai (absolue) thermodynamique inverse

3.1.26
papier graphique d'endurance thermique
papier de graphique ayant une échelle de temps logarithmique en ordonnée et des valeurs inversement proportionnelles à la température (absolue) thermodynamique en abscisse

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

3.1.27
groupe de durée (des éprouvettes)
tous les groupes d'essai retirés pour être soumis à l'essai au même moment

3.1.28
variance du groupe de données
somme des carrés des écarts types des données par rapport à un niveau de référence défini par un ou plusieurs paramètres divisée par le nombre de degrés de liberté

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

3.2 Symboles et termes abrégés

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

Symbole	Description	Article
a	Coefficient de régression: intersection de la droite de régression avec l'axe des x	6.4.3
b	Coefficient de régression: pente de la droite de régression par rapport à l'axe des y	6.4.3
b_{r}	Paramètre déduit de b pour calculer $\hat{Y}_{\mathrm{c}}$	6.5.3
b_p	Coefficient de régression pour les calculs d'essai destructif	6.3.4
c	Paramètre de calcul de χ^2	6.5.1
F	Rapport de variance distribuée F pour essai de linéarité	6.3.3, 6.5.2
g, h, i, j	Paramètres d'indexation pour les calculs de régression	6.3, 6.4
HIC	Intervalle de division par deux d'un matériau candidat	7.1
k	Nombre de durées de vieillissement	6.1.1
N	Nombre total de valeurs de x_{ij}	6.4.2
n_i	Nombre de valeurs de x_{ij} du groupe des durées i	6.1.1
P	Signification statistique de la valeur d'une fonction d'essai statistique	Annexes A, B et C
p_{e}	Valeur de propriété de fin de vie	6.3

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

3.1.24
test group (of specimens)
number of specimens removed together from a temperature group for destructive testing

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

3.1.25
thermal endurance graph
graph in which the logarithm of the time to reach a specified end-point in a thermal endurance test is plotted against the reciprocal thermodynamic (absolute) test temperature

3.1.26
thermal endurance graph paper
graph paper having a logarithmic time scale as the ordinate and values proportional to the reciprocal of the thermodynamic (absolute) temperature as the abscissa

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

3.1.27
time group (of specimens)
all test groups removed for testing at the same time

3.1.28
variance of a data group
sum of the squares of the deviations of the data from a reference level defined by one or more parameters divided by the number of degrees of freedom

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

3.2 Symbols and abbreviated terms

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

Symbol	Description	Clause
a	Regression coefficient: intercept of regression line with x-axis	6.4.3
b	Regression coefficient: slope of regression line relative to y-axis	6.4.3
b_{r}	Parameter derived from b for calculation of $\hat{Y}_{\mathrm{c}}$	6.5.3
b_p	Regression coefficient for destructive test calculations	6.3.4
c	Parameter in calculation of χ^2	6.5.1
F	F-distributed variance ratio for linearity test	6.3.3, 6.5.2
g, h, i, j	Indexing parameters for regression calculations	6.3, 6.4
HIC	Halving interval	7.1
k	Number of ageing times	6.1.1
N	Total number of x_{ij} values	6.4.2
n_i	Number of x_{ij} values in time group i	6.1.1
P	Significance of the value of a statistical test function	Annexes A, B, and C
p_{e}	End-point property value	6.3

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

p_{gh}	Valeur de propriété h dans un groupe des températures g (groupe des durées i supposé)	6.3
$\bar{p}_g$	Valeur moyenne de propriété dans un groupe des températures g (groupe des durées i supposé)	6.3
q	Base de logarithmes dans le calcul de χ^2	6.5.1
r	Nombre de groupes des températures sélectionnés dans le groupe des durées i	6.3.2
r^2	Carré du coefficient de corrélation	6.4.3
s^2	Variance (non-régression) totale des valeurs de x	6.5.2
s_{1g}^2	Variance de valeurs de propriété dans un groupe des températures g (groupe des durées i supposé)	6.3.2
s_a^2	Valeur de s^2 ajustée pour permettre une non-linéarité acceptable	6.5.2
s_r^2	Paramètre déduit de s^2 pour calculer $\hat{Y}_c$	6.5.3
t	Variable stochastique distribuée t selon la loi de Student	6.5.3
TC, TC_a	Limite inférieure de confiance de TI ou TI_a (voir s_a^2 ci-dessus)	7.1
$t_{p,N}$	Valeur de t au niveau de confiance p et à N degrés de liberté	6.5.3
x_{ij}	Valeur de x, numéro d'indice j, dans le groupe des durées i	6.3.4
$\bar{x}$	Moyenne générale des valeurs de x	6.4.2
$\hat{X}$, $\hat{X}_c$	Estimation de x et de ses limites de confiance	6.5.3
y_i	Valeur de y pour groupe des durées i	6.1.1
$\bar{y}$	Moyenne générale des valeurs de y	6.4.2
$\hat{Y}$, $\hat{Y}_c$	Estimation de y et de ses limites de confiance	6.5.3
z_{ij}	Température kelvin inverse pour ϑ_{ij}	6.1.1
$\mu_2(y)$	Moment centré d'ordre 2 des valeurs de y	6.4.2
v	Nombre total des valeurs de propriété dans un groupe de durées (i supposé)	6.3.2
χ^2	Variable distribuée χ^2 pour essai (de Bartlett) d'égalité de variance	6.5.1
ϑ_{ij}	Température de vieillissement pour groupe d'éprouvette j dans un groupe de durées i	6.1.1
Θ_0	273,15 K (correspond à 0 °C)	6.1.1
τ_i	Durée de vieillissement pour un groupe de durées i	6.1.1

4 Protocole FTFM

4.1 Principes et objectifs

4.1.1 Principes du protocole FTFM

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

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

p_{gh}	Property value h in temperature group g (time group i implied)	6.3
$\bar{p}_g$	Mean property value in temperature group g (time group i implied)	6.3
q	Base of logarithms in calculation of χ^2	6.5.1
r	Number of temperature groups selected in time group i	6.3.2
r^2	Square of correlation coefficient	6.4.3
s^2	Total (non-regression) variance of x-values	6.5.2
s_{1g}^2	Variance of property values in temperature group g (time group i implied)	6.3.2
s_a^2	Value of s^2 adjusted to allow for acceptable non-linearity	6.5.2
s_r^2	Parameter derived from s^2 for calculation of $\hat{Y}_c$	6.5.3
t	Student's *t*-distributed stochastic variable	6.5.3
TC, TC_a	Lower confidence limit of TI or TI_a (see s_a^2 above)	7.1
$t_{p,N}$	Value of t with probability p and N degrees of freedom	6.5.3
x_{ij}	Value of x, index number j , in time group i	6.3.4
$\bar{x}$	General mean of x-values	6.4.2
$\hat{X}$, $\hat{X}_c$	Estimate of x, and its confidence limit	6.5.3
y_i	Value of y for time group i	6.1.1
$\bar{y}$	General mean of y-values	6.4.2
$\hat{Y}$, $\hat{Y}_c$	Estimate of y, and its confidence limit	6.5.3
z_{ij}	Reciprocal kelvin temperature for ϑ_{ij}	6.1.1
$\mu_2(y)$	Central 2nd moment of y values	6.4.2
v	Total number of property values in time group (i implied)	6.3.2
χ^2	χ^2 distributed variable for variance equality (Bartlett's) test	6.5.1
ϑ_{ij}	Ageing temperature for specimen group j in time group i	6.1.1
Θ_0	273,15 K (corresponding to 0 °C)	6.1.1
τ_i	Ageing time for time group i	6.1.1

4 FTFM protocol

4.1 Principles and objectives

4.1.1 Principles of FTFM protocol

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

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

En cela, il diffère de la méthode de trame à température fixe de la CEI 60216-1 dans laquelle un petit nombre de températures de vieillissement est employé et dans laquelle le vieillissement est effectué par essais à intervalles jusqu'à ce que la fin de vie soit atteinte.

4.1.2 Objectif du protocole FTFM

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

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

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

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

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

5 Détermination de TI

5.1 Méthodes de vieillissement

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

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

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

5.2 Durées et températures de vieillissement

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

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

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

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

In this it differs from the fixed temperature frame procedure of IEC 60216-1, where a small number of ageing temperatures is employed, with ageing being carried out with testing at intervals, until the end-point has been reached.

4.1.2 Objective of FTFM protocol

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

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

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

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

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

5 TI determination

5.1 Ageing procedures

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

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

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

5.2 Ageing times and temperatures

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

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

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

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

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

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

5.3 Eprouvettes d'essai

5.3.1 Préparation

Les éprouvettes utilisées pour les essais de vieillissement doivent constituer un échantillon aléatoire à partir de la population étudiée et doivent être traitées de manière uniforme.

Comme les conditions de mise en forme peuvent affecter de manière significative les caractéristiques de vieillissement de certains matériaux, on doit s'assurer que, par exemple l'échantillonnage, la découpe de papier du rouleau, la découpe de matériau anisotropique dans un sens donné, le moulage, le durcissement, le préconditionnement soient effectués de la même manière pour toutes les éprouvettes.

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

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

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

Les tolérances de dimensions d'éprouvette doivent être identiques aux tolérances utilisées pour les essais généraux. Quand des dimensions d'éprouvette nécessitent des tolérances inférieures à celles normalement utilisées, ces tolérances spéciales doivent être données.

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

5.3.2 Nombre d'éprouvettes

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

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

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

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

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

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

5.3 Test specimens

5.3.1 Preparation

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

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

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

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

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

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

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

5.3.2 Number of specimens

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

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

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

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

où

a est le nombre d'éprouvettes dans un groupe des essais soumis à un traitement identique à une température et éliminé après la détermination de la propriété (généralement cinq);

b est le nombre de traitements, c'est-à-dire le nombre de températures d'exposition, pour une durée;

c est le nombre de niveaux de durée de vieillissement;

d est le nombre d'éprouvettes du groupe utilisées pour établir la valeur initiale de la propriété. Il est d'usage de choisir $d = 2a$ quand le critère de diagnostic est la variation de pourcentage de la propriété par rapport à son niveau initial. Quand le critère est un niveau de propriété absolu, la valeur zéro est généralement donnée à d, à moins qu'il soit demandé de noter la valeur initiale.

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

5.4 Essais de diagnostic

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

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

5.5 Choix des fins de vie

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

Il existe deux façons de déterminer la fin de vie:

a) comme une augmentation ou une diminution du pourcentage de la valeur de propriété mesurée au niveau original. Cette approche fournira des comparaisons entre matériaux mais fournira aussi une relation plus pauvre que le point b) aux valeurs de propriété requises en service normal. Pour déterminer la valeur initiale, voir 5.6;

b) comme une valeur fixe de la propriété. Cette valeur peut être choisie par rapport aux exigences de service courant. Les fins de vie des essais d'épreuve sont principalement données sous la forme de valeurs fixes de la propriété.

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

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

where

a is the number of specimens in a test group undergoing identical treatment at one temperature and discarded after determination of the property (usually five);

b is the number of treatments, i.e. total number of exposure temperatures, at one time;

c is the number of ageing time levels;

d is the number of specimens in the group used to establish the initial value of the property. Normal practice is to select $d = 2a$ when the diagnostic criterion is a percentage change of the property from its initial level. When the criterion is an absolute property level, *d* is usually given the value of zero, unless reporting of the initial value is required.

It is good practice to prepare additional specimens, or at least to provide a reserve from 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.

5.4 Diagnostic tests

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 in that order of preference. In this case, the diagnostic test shall be stated in the report, including the property, measurement procedure and end-point.

5.5 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. 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 5.6;

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. 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.

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

5.6 Etablissement de valeur de propriété initiale

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

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

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

5.7 Conditions de vieillissement

5.7.1 Etuves de vieillissement

Tout au long de la période de vieillissement par la chaleur, les étuves de vieillissement doivent maintenir, dans cette partie de l'espace de travail où les éprouvettes sont placées, une température dont les tolérances sont données dans la CEI 60216-4-1. Sauf spécification contraire, la CEI 60216-4-1 doit s'appliquer. La CEI 60216-4-2 et la CEI 60216-4-3 peuvent s'appliquer dans des cas particuliers.

Il convient que la circulation de l'air à l'intérieur de l'étuve, et l'échange d'air soient appropriés afin d'assurer que le débit de dégradation thermique n'est pas influencé par l'accumulation de produits de décomposition ou l'appauvrissement en oxygène (voir 5.7.2).

5.7.2 Conditions d'environnement

Sauf spécification contraire, le vieillissement doit être effectué dans des étuves fonctionnant dans l'atmosphère normale de laboratoire. Cependant, pour certains matériaux très sensibles à l'humidité dans les étuves, des résultats plus fiables sont obtenus quand l'humidité absolue de la chambre de l'étuve de vieillissement est maintenue à une valeur égale à l'humidité absolue de l'atmosphère normalisée B selon la CEI 60212. Cela, comme toute autre condition spécifiée, doit être consigné.

NOTE L'effet des conditions d'environnement particulières comme l'humidité extrême, la contamination chimique ou les vibrations peut être évalué dans de nombreux cas de manière plus appropriée par des essais de systèmes d'isolation. Malgré le conditionnement de l'environnement, l'influence des atmosphères autres que l'air et l'immersion dans des liquides, comme par exemple l'huile, peut être importante mais celles-ci ne sont pas concernées par la présente norme.

5.7.3 Conditions de mesure de propriété

Sauf spécification contraire, les éprouvettes doivent être conditionnées avant la mesure, et mesurées dans les conditions indiquées dans la spécification du matériau.

5.8 Méthode de vieillissement

Etablir un plan d'essai, par exemple celui qui est exposé dans l'Annexe D.

Préparer un nombre d'éprouvettes en suivant les instructions de 5.3.2. Si nécessaire, déterminer la valeur initiale de la propriété comme indique en 5.6. Diviser les éprouvettes par sélection aléatoire en groupes d'essai appropriés au plan d'essai. Placer les nombres appropriés de groupes dans chacune des étuves à la température requise.

NOTE Il convient d'accorder de l'attention à la recommandation de l'Annexe D (NOTE 2) pour préparer des groupes d'éprouvettes supplémentaires au cas où les caractéristiques d'endurance thermique du matériau ne correspondraient pas aux recommandations de base de l'Annexe D.

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

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

5.6 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 5.2), for two days (48 ± 6) h.

NOTE In some cases (e.g. 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 materials 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.

5.7 Ageing conditions

5.7.1 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. IEC 60216-4-2 and 60216-4-3 may be specified in special cases.

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 5.7.2).

5.7.2 Environmental conditions

Unless otherwise specified, the 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 maintained at the value equal to the absolute humidity of standard atmosphere B according to IEC 60212. This, or other specified conditions, shall then be reported.

NOTE 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. Although environmental conditioning, the influence of atmospheres other than air and immersion in liquids, such as oil, may be important, these are not the concern of this standard.

5.7.3 Conditions for property measurement

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

5.8 Procedure for ageing

Establish a testing scheme, as for example outlined in Annex D.

Prepare a number of specimens following the instructions of 5.3.2. If necessary, determine the initial value of the property as specified in 5.6. Divide the specimens by random selection into test groups appropriate for the testing scheme. Place the appropriate numbers of groups in each of the ovens at the required temperature.

NOTE Attention should be given to the recommendation in Annex D (NOTE 2) to prepare extra groups of specimens should the thermal endurance characteristics of the material be unsuited to the basic recommendation of Annex D.

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

Après chaque durée de vieillissement, choisir au hasard un groupe à partir de chacune des étuves de vieillissement appropriées et le retirer de l'étuve. Permettre le refroidissement jusqu'à température ambiante sauf spécification contraire. Si cela est spécifié, conditionner pendant la durée spécifiée dans l'atmosphère spécifiée et essayer les éprouvettes en utilisant la méthode d'essai spécifiée.

Il est recommandé de réaliser les calculs à mesure que les données sont disponibles, en particulier pour la durée d'exposition la plus courte.

Evaluer les résultats comme spécifié dans l'Article 6.

6 Méthodes de calcul

6.1 Principes généraux

6.1.1 Calcul de l'endurance thermique

Les méthodes et instructions générales de calcul données en 6.4 sont basées sur les principes établis dans la CEI 60493-1, modifiés comme suit (voir 3.7.1 de la CEI 60493-1:1974).

a) La relation entre la moyenne des inverses (x) des températures (absolues) thermodynamiques pour lesquelles la fin de vie spécifiée est atteinte et le logarithme (y) de la durée de vieillissement est linéaire.

b) Les valeurs d'écart-type des valeurs de x à partir de la relation linéaire sont distribuées de manière normale avec une variance qui ne dépend pas de la durée de vieillissement.

Les données utilisées dans les méthodes générales de calcul sont obtenues à partir des données expérimentales par un calcul préliminaire. Les données de calcul comprennent les valeurs de z, y, n et k, où

$z_{ij} = 1/\left(\vartheta_{ij} + \Theta_0\right)$ = inverse de la valeur thermodynamique en K de la température de vieillissement ϑ_{ij} en °C;

$y_i = \log \tau_i$ = logarithme de la valeur de la durée de vieillissement en h (τ_i);

n_i = nombre de valeurs z dans le nombre de groupes i vieillies pendant une durée τ_i ;

k = nombre de durées de vieillissement ou de groupes de valeurs x.

NOTE N'importe quel nombre peut servir de base pour les logarithmes, dans la mesure où une cohérence est observée dans les calculs. L'utilisation de logarithmes népériens (base e) est recommandée, puisque la plupart des langages de programmation et des calculateurs scientifiques disposent de cette fonction.

6.1.2 Valeur de propriété – transformée de température équivalente

(Calcul de température de vieillissement hypothétique déduit de la valeur d'une propriété)

Quand des critères d'essai destructif sont utilisés, chaque éprouvette est détruite pour obtenir une valeur de propriété: pour cette raison, les valeurs de durée et/ou de température nécessaires pour atteindre la fin de vie ne peuvent pas être mesurées directement. Pour permettre l'obtention des estimations de durées jusqu'en fin de vie, les hypothèses suivantes sont faites qu'à proximité de la fin de vie (pour une durée de vieillissement):

a) la relation entre les valeurs moyennes de propriété et les inverses des températures thermodynamiques est approximativement linéaire;

b) les valeurs d'écart-type des valeurs de la propriété individuelle obtenues à partir de cette relation linéaire sont distribuées de manière normale avec une variance qui ne dépend pas de la température;

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

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

After each ageing time, select at random one group from each of the appropriate ageing ovens and remove it from the oven. Allow to cool to room temperature unless otherwise specified. If specified, condition for the specified time in the specified atmosphere, and test the specimens by the specified test procedure.

It is recommended to carry out calculations as data become available, particularly for the shortest exposure time.

Evaluate the results as specified in Clause 6.

6 Calculation procedures

6.1 General principles

6.1.1 Thermal endurance calculation

The general calculation procedures and instructions given in 6.4 are based on the principles set out in IEC 60493-1, modified as follows (see 3.7.1 of IEC 60493-1:1974).

a) The relation between the mean of the reciprocals (x) of the thermodynamic (absolute) temperatures at which the specified end-point is reached and the logarithm (y) of the ageing time is linear.

b) The values of the deviations of the values of x from the linear relation are normally distributed with a variance which is independent of the ageing time.

The data used in the general calculation procedures are obtained from the experimental data by a preliminary calculation. Calculation data comprise values of z, y, n and k, where

$z_{ij} = 1/\left(\vartheta_{ij} + \Theta_0\right)$ = reciprocal of thermodynamic value in K of ageing temperature ϑ_{ij} in °C;

$y_i = \log \tau_i$ = logarithm of value of ageing time in h (τ_i);

n_i = number of z values in group number i aged for time τ_i ;

k = number of ageing times or groups of x values.

NOTE Any number may be used as the base for logarithms, provided consistency is observed throughout calculations. The use of natural logarithms (base e) is recommended, since most computer programming languages and scientific calculators have this facility.

6.1.2 Property value – equivalent temperature transform

(Calculation of hypothetical ageing temperature derived from the value of a property)

When destructive test criteria are employed, each test specimen is destroyed in obtaining a property value: for this reason, time and/or temperature values necessary to reach end-point cannot be directly measured. To enable estimates of the times to end-point to be obtained, the following assumptions are made that in the vicinity of the end-point (for one ageing time):

a) the relation between the mean property values and the reciprocals of the thermodynamic temperatures is approximately linear;

b) the values of the deviations of the individual property values from this linear relation are normally distributed with a variance which is independent of the temperature;

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

c) les courbes de propriété par rapport à l'inverse de la température (thermodynamique) de vieillissement pour les éprouvettes d'essai individuel sont des lignes droites parallèles à la droite représentant la relation du point a) ci-dessus.

Pour appliquer ces hypothèses, une courbe de vieillissement est tracée à partir des données obtenues pour chacune des durées de vieillissement. La courbe pour chacune des durées de vieillissement est obtenue en traçant la valeur moyenne de propriété pour chaque groupe d'éprouvettes par rapport à l'inverse de leur température (thermodynamique) de vieillissement. Si possible, le vieillissement est conduit à des températures de vieillissement suffisamment hautes et basses pour qu'au moins une des moyennes de groupe soit au-dessus du point de fin de vie et qu'au moins une des moyennes de groupe soit en dessous du point de fin de vie. Une zone approximativement linéaire de cette courbe est dessinée (incluant au moins trois moyennes de groupe) à proximité de la fin de vie (Figure E.1).

NOTE Une échelle de température non linéaire graduée en °C est généralement employée comme axe des abscisses (voir Figure E.1).

Un essai statistique (essai F) est réalisé pour décider si les écarts types à partir de la linéarité de la zone sélectionnée sont acceptables (voir 6.3.3). S'ils sont acceptables, alors des points représentant les propriétés des éprouvettes individuelles sont dessinés sur le même graphique. Une droite parallèle à la droite de vieillissement est dessinée sur chaque point de données de l'éprouvette individuelle: l'estimation de la valeur de x pour cette éprouvette est alors la valeur inverse de la température (thermodynamique) correspondant à l'intersection de la droite avec la droite de fin de vie (Figure E.1).

Avec certaines limitations, une extrapolation du graphique de la valeur moyenne linéaire jusqu'au niveau de fin de vie est autorisée.

Les opérations ci-dessus sont effectuées numériquement dans les calculs détaillés en 6.3.2 et 6.3.3.

6.2 Précision des calculs

Bon nombre d'étapes de calcul impliquent la sommation des différences entre nombres ou les carrés de ces différences quand les différences peuvent être petites en comparaison des nombres. Dans ces circonstances, il est nécessaire que les calculs soient effectués avec une précision interne d'au moins six chiffres significatifs, et de préférence plus de six chiffres, s'il est convenu d'atteindre dans le résultat une précision de trois chiffres. En prévision de la nature répétitive et fastidieuse des calculs, il est fortement recommandé de les effectuer à l'aide d'un calculateur programmable ou d'un micro-ordinateur avec lesquels une précision interne de dix chiffres ou plus s'obtient facilement.

6.3 Dérivation des températures équivalentes aux valeurs de propriété

Dans les groupes d'éprouvettes vieillies, effectuer les méthodes décrites de 6.3.1 à 6.3.3. pour chaque durée τ_i.

6.3.1 Calculs préliminaires

Calculer la valeur de y correspondant à chaque durée de vieillissement τ

$$y_i = \log \tau_i \quad (1)$$

Calculer la valeur de z correspondant à chaque température de vieillissement ϑ

$$z_{ij} = 1/\left(\vartheta_{ij} + \Theta_0\right) \quad (2)$$

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

c) the curves of property versus reciprocal of the ageing (thermodynamic) temperature for the individual test specimens are straight lines parallel to the line representing the relation of a) above.

For application of these assumptions, an ageing curve is drawn of the data obtained at each of the ageing times. The curve for each ageing time is obtained by plotting the mean value of property for each specimen group against the reciprocal of its ageing temperature (thermodynamic) If possible, ageing is conducted at sufficiently high and low ageing temperatures that at least one group mean is above and at least one below the end-point level. An approximately linear region of this curve is drawn (including at least three group means) in the vicinity of the end-point (Figure E.1).

NOTE A non-linear temperature scale graduated in °C is usually employed as the abscissa axis (see Figure E.1).

A statistical test (F-test) is carried out to decide whether deviations from linearity of the selected region are acceptable (see 6.3.3). If acceptable, then on the same graph points representing the properties of the individual specimens are drawn. A line parallel to the ageing line is drawn through each individual specimen data point: the estimate of the value of x for that specimen is then the value of the reciprocal of the (thermodynamic) temperature corresponding to the intersection of the line with the end-point line (Figure E.1).

With some limitations, an extrapolation of the linear mean value graph to the end-point level is permitted.

The above operations are executed numerically in the calculations detailed in 6.3.2 and 6.3.3.

6.2 Precision of calculations

Many of the calculation steps involve summing of the differences of numbers or the squares of these differences, where the differences may be small by comparison with the numbers. In these circumstances it is necessary that the calculations be made with an internal precision of at least six significant digits, and preferably more, if precision of three digits is to be achieved in the result. In view of the repetitive and tedious nature of the calculations it is strongly recommended that they be performed using a programmable calculator or microcomputer, in which case internal precision of ten or more digits is easily available.

6.3 Derivation of temperatures equivalent to property values

Within the groups of specimens aged for each time τ_i, carry out the procedures described in 6.3.1 to 6.3.3.

6.3.1 Preliminary calculations

Calculate the value of y corresponding to each ageing time τ

$$y_i = \log \tau_i \tag{1}$$

Calculate the value of z corresponding to each ageing temperature ϑ

$$z_{ij} = 1/\left(\vartheta_{ij} + \Theta_0\right) \tag{2}$$

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 Calculs de régression (propriété sur la température)

Calculer la valeur de propriété moyenne pour le groupe de données obtenues à chaque température de vieillissement (voir l'équation (3)) et la valeur correspondante de z. Reporter ces valeurs sur un graphique avec la valeur de propriété p en ordonnée et z en abscisse (voir Figure E.1).

Tracer de façon visible une courbe régulière reliant les points de propriété moyenne.

Choisir une plage de températures dans laquelle la courbe ainsi tracée est approximativement linéaire (voir 6.3.3). S'assurer que cette plage de températures comprend au moins trois valeurs de propriété moyenne avec au moins un point de chaque côté de la droite de fin de vie $p = p_e$. Si ce n'est pas le cas, et que d'autres mesures à des températures plus élevées ne peuvent être effectuées (par exemple, parce qu'il ne reste aucune éprouvette), une petite extrapolation est autorisée sous réserve de respecter les conditions de 6.3.3.

L'indice i est volontairement omis des expressions de 6.3.2 et de 6.3.3 afin d'éviter la confusion des différents indices à l'impression. Les calculs de ces paragraphes doivent être effectués séparément avec les données de chaque durée de vieillissement.

Réserver la lettre r pour le nombre de valeurs moyennes sélectionnées (et les groupes de valeur correspondants), les lettres z_g pour l'inverse des températures de vieillissement individuelles et les lettres p_{gh} pour les valeurs de propriété individuelles, où

$g = 1 \ldots r$ est le numéro d'ordre du groupe sélectionné vieilli à la température ϑ_g ;

$h = 1 \ldots n_g$ est le numéro d'ordre de la valeur de propriété au sein du groupe numéro g;

n_g est le nombre de valeurs de propriété au sein du groupe numéro g.

NOTE Dans la plupart des cas, les nombres n_g des éprouvettes essayées à toutes les températures d'essai sont identiques, mais cela n'est pas une condition nécessaire, et le calcul peut être effectué avec différentes valeurs de n_g pour différents groupes.

Calculer la valeur moyenne $\bar{p}_g$ et la variance s_{1g}^2 pour chaque groupe de valeurs de propriété sélectionné.

$$\bar{p}_g = \sum_{h=1}^{n_g} p_{gh} / n_g \tag{3}$$

$$s_{1g}^2 = \left(\sum_{h=1}^{n_g} p_{gh}^2 - n_g \bar{p}_g^{\,2} \right) \Big/ \left(n_g - 1 \right) \tag{4}$$

Faire les calculs suivants:

$$\nu = \sum_{g=1}^{r} n_g \tag{5}$$

$$\bar{z} = \sum_{g=1}^{r} z_g n_g / \nu \tag{6}$$

$$\bar{p} = \sum \bar{p}_g n_g / \nu \tag{7}$$

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

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 Regression calculations (property on temperature)

Calculate the mean property value for the data group obtained at each ageing temperature (see equation (3)) and the corresponding value of z. Plot these values on a graph with the property value p as ordinate and z as abscissa (see Figure E.1).

Fit by visual means a smooth curve through the mean property points.

Select a temperature range within which the curve so fitted is approximately linear (see 6.3.3). Ensure that this temperature range includes at least three mean property values with at least one point on each side of the end-point line $p = p_e$. If this is not the case, and further measurements at higher temperatures cannot be made (for example, because no specimens remain), a small extrapolation is permitted, subject to the conditions of 6.3.3.

The index i is omitted from the expressions in 6.3.2 and 6.3.3 in order to avoid confusing multiple index combinations in print. The calculations of these subclauses shall be carried out separately on the data from each ageing time.

Let the number of selected mean values (and corresponding value groups) be r, the reciprocals of the individual ageing temperatures be z_g and the individual property values be p_{gh}, where

$g = 1 \ldots r$ is the order number of the selected group aged at temperature ϑ_g ;

$h = 1 \ldots n_g$ is the order number of the property value within group number g;

n_g is the number of property values in group number g.

NOTE In most cases the numbers n_g of specimens tested at all test temperatures are identical, but this is not a necessary condition, and the calculation can be carried out with different values of n_g for different groups.

Calculate the mean value $\bar{p}_g$ and the variance s_{1g}^2 for each selected property value group.

$$\bar{p}_g = \sum_{h=1}^{n_g} p_{gh} / n_g \tag{3}$$

$$s_{1g}^2 = \left(\sum_{h=1}^{n_g} p_{gh}^2 - n_g \bar{p}_g^{\,2} \right) \Big/ \left(n_g - 1 \right) \tag{4}$$

Make the following calculations:

$$\nu = \sum_{g=1}^{r} n_g \tag{5}$$

$$\bar{z} = \sum_{g=1}^{r} z_g n_g / \nu \tag{6}$$

$$\bar{p} = \sum \bar{p}_g n_g / \nu \tag{7}$$

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

Calculer les coefficients de l'équation de régression, $p = a_p + b_p z$

$$a_p = \bar{p} - b_p \bar{z} \tag{8}$$

$$b_p = \frac{\left(\sum_{g=1}^{r} n_g z_g \bar{p}_g - \nu \, \bar{z} \, \bar{p} \right)}{\left(\sum_{g=1}^{r} n_g z_g^2 - \nu \, \bar{z}^{\,2} \right)} \tag{9}$$

Calculer la variance combinée au sein des groupes de propriétés

$$s_1^2 = \sum_{g=1}^{r} \left(n_g - 1 \right) s_{1g}^2 \; / \left(\nu - r \right) \tag{10}$$

Calculer la variance pondérée des écarts types des moyennes de groupes de propriétés à partir de la droite de régression

$$s_2^2 = \sum n_g \left(\bar{p}_g - \hat{P}_g \right)^2 / \left(r - 2 \right) \tag{11}$$

où

$$\hat{P}_g = a_p + b_p \; z_g \tag{12}$$

Ce qui peut aussi s'exprimer comme

$$s_2^2 = \left[\left(\sum_{g=1}^{r} n_g \bar{p}_g^2 - \nu \, \bar{p}^2 \right) - b_p \left(\sum_{g=1}^{r} n_g z_g \bar{p}_g - \nu \, \bar{z} \, \bar{p} \right) \right] \Big/ \left(r - 2 \right) \tag{13}$$

6.3.3 Essai de linéarité

Faire l'essai F pour une non-linéarité au niveau de confiance 0,05 en calculant

$$F = s_2^2 \, / \, s_1^2 \tag{14}$$

Si la valeur calculée de F est supérieure à la valeur tabulée F_1 avec des degrés de liberté $f_n = r - 2$ et $f_d = \nu - r$ (voir Tableau C.3), modifier la sélection de 6.3.2 et répéter les calculs.

S'il est impossible de satisfaire à l'essai F au niveau significatif 0,05 avec $r \geq 3$, faire l'essai F au niveau de confiance 0,005 en comparant la valeur calculée de F avec la valeur tabulée F_2 avec des degrés de liberté $f_n = r - 2$ et $f_d = \nu - r$ (voir Tableau C.4).

Si l'essai est satisfaisant à ce niveau, les calculs peuvent être poursuivis, mais l'ajustement de TI conformément à l'équation (48) de 7.2.2 n'est pas permis.

Si l'essai F au niveau significatif 0,005 (c'est-à-dire $F \leq F_2$) n'est pas satisfaisant ou les points de propriété reportés en 6.3.2 sont tous du même côté de la droite de fin de vie, une extrapolation peut être autorisée sous réserve de respecter la condition suivante:

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

Calculate the coefficients of the regression equation, $p = a_p + b_p z$

$$a_p = \bar{p} - b_p \bar{z} \tag{8}$$

$$b_p = \frac{\left(\sum_{g=1}^{r} n_g z_g \bar{p}_g - \nu \, \bar{z} \, \bar{p} \right)}{\left(\sum_{g=1}^{r} n_g z_g^2 - \nu \, \bar{z}^{\,2} \right)} \tag{9}$$

Calculate the pooled variance within the property groups

$$s_1^2 = \sum_{g=1}^{r} \left(n_g - 1 \right) s_{1g}^2 \; / \left(\nu - r \right) \tag{10}$$

Calculate the weighted variance of the deviations of the property group means from the regression line

$$s_2^2 = \sum n_g \left(\bar{p}_g - \hat{P}_g \right)^2 / \left(r - 2 \right) \tag{11}$$

where

$$\hat{P}_g = a_p + b_p \; z_g \tag{12}$$

This may also be expressed as

$$s_2^2 = \left[\left(\sum_{g=1}^{r} n_g \bar{p}_g^2 - \nu \, \bar{p}^2 \right) - b_p \left(\sum_{g=1}^{r} n_g z_g \bar{p}_g - \nu \, \bar{z} \, \bar{p} \right) \right] \Big/ \left(r - 2 \right) \tag{13}$$

6.3.3 Linearity test

Make the F-test for non-linearity at significance level 0,05 by calculating

$$F = s_2^2 \, / \, s_1^2 \tag{14}$$

If the calculated value of F exceeds the tabulated value F_1 with $f_n = r - 2$ and $f_d = \nu - r$ degrees of freedom (see Table C.3), change the selection in 6.3.2 and repeat the calculations.

If it is not possible to satisfy the F-test on the significance level 0,05 with $r \geq 3$, make the F-test at a significance level 0,005 by comparing the calculated value of F with the tabulated value F_2 with $f_n = r - 2$ and $f_d = \nu - r$ degrees of freedom (see Table C.4).

If the test is satisfied at this level, the calculations may be continued, but the adjustment of TI according to 7.2.2, equation (48) is not permitted.

If the F-test on significance level 0,005 (i.e. $F \leq F_2$) cannot be satisfied, or the property points plotted in 6.3.2 are all on the same side of the end-point line, an extrapolation may be permitted, subject to the following condition:

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

Si l'essai F au niveau de confiance 0,05 peut être satisfait sur une plage de valeurs (avec $r \geq 3$) où toutes les valeurs moyennes $\bar{p}_g$ sont du même côté de la valeur de fin de vie p_e, une extrapolation peut être effectuée pourvu que la valeur absolue de la différence entre la valeur de fin de vie p_g et la valeur moyenne $\bar{p}_g$ la plus proche de la fin de vie (généralement $\bar{p}_r$) soit inférieure au quart de la valeur absolue de la différence $(\bar{p}_1 - \bar{p}_r)$.

NOTE Dans la Figure E.1, si p_e était de 5 000, le calcul serait le suivant:

$\bar{p}_1$ est la valeur de la moyenne du groupe de données le plus à gauche dans la boîte de sélection, $\bar{p}_r$ celle du groupe le plus à droite. La condition est alors

$$|\bar{p}_r - p_e| \leq |\bar{p}_1 - \bar{p}_r| / 4$$

Les traits verticaux signifient que la valeur considérée est en valeur absolue.

Dans ce cas, les calculs peuvent être poursuivis, mais il n'est encore pas permis d'effectuer l'ajustement de TI conformément à l'équation (48) de 7.2.2.

6.3.4 Estimation des températures en fin de vie équivalentes aux valeurs de propriété

Pour chacune des valeurs de propriété h dans chacun des groupes sélectionnés g, calculer la température inverse de fin de vie équivalente:

$$x_{ij} = z_g - \frac{(p_{gh} - p_e)}{b_p} \quad (15)$$

et

$$n_i = \nu \quad (16)$$

où

$j = 1 \ldots n_i$ est le numéro d'ordre de la valeur x dans le groupe des valeurs d'estimation de x pendant la durée de vieillissement τ_i et z_g est l'inverse de la température de vieillissement;

les valeurs n_i de x_{ij} sont les valeurs de température inverse de fin de vie à utiliser dans les calculs de 6.4.

6.4 Analyse de régression (température en fonction du temps)

NOTE Lorsque la détermination fait partie de la détermination du RTE (voir l'Article 3), les résultats de certaines équations seront demandés en données d'entrée à la fois pour le matériau candidat et le matériau de contrôle. Si les calculs sont faits par ordinateur, un sous-programme pour les sauvegarder dans un fichier de données s'avérera utile.

Les résultats des équations (19), (20), (21), (23), (25), (26), (33) ou (34) et (46) seront demandés. De plus, la valeur du logarithme de la durée de vieillissement la plus longue sera demandée pour compléter les données d'entrée.

6.4.1 Moyennes et variances de groupe

Calculer la moyenne et la variance du groupe des valeurs x, x_{ij}, obtenues pour chaque durée de vieillissement τ_i:

$$\bar{x}_i = \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} / n_i \quad (17)$$

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

If the F-test on significance level 0,05 can be met for a range of values (with $r \geq 3$) where all mean values $\bar{p}_g$ are on the same side of the end-point value p_e, an extrapolation may be made provided that the absolute value of the difference between the end-point value p_e and the mean value $\bar{p}_g$ closest to the end-point (usually $\bar{p}_r$) is less than one quarter of the absolute value of the difference $(\bar{p}_1 - \bar{p}_r)$.

NOTE In Figure E.1, if p_e were 5 000, the calculation would be as follows:

$\bar{p}_1$ is the value of the mean of the leftmost data group in the selection box, $\bar{p}_r$ of the rightmost. The condition is then

$$|\bar{p}_r - p_e| \leq |\bar{p}_1 - \bar{p}_r| / 4$$

The enclosing vertical lines imply the absolute value of the content.

In this case calculations can be continued, but again it is not permitted to carry out the adjustment of TI according to 7.2.2, equation (48).

6.3.4 Estimation of end-point temperatures equivalent to property values

For each of the h values of property in each of the g selected groups, calculate the equivalent reciprocal end-point temperature:

$$x_{ij} = z_g - \frac{(p_{gh} - p_e)}{b_p} \tag{15}$$

and

$$n_i = \nu \tag{16}$$

where

$j = 1 \ldots n_i$ is the order number of the x-value in the group of estimated x-values at ageing time τ_i and z_g is the reciprocal of the ageing temperature;

the n_i values of x_{ij} are reciprocal end-point temperature values to be used in the calculations of 6.4.

6.4 Regression analysis (temperature on time)

NOTE Where the determination is part of the determination of RTE (see Clause 3) the results from some equations will be required as input data for both control and candidate materials. If the calculations are made by computer program, a subroutine to save them to a data file will be useful.

Results from equations (19), (20), (21), (23), (25), (26), (33) or (34) and (46) will be required. In addition the value of the logarithm of the longest ageing time will be required to complete the input data.

6.4.1 Group means and variances

Calculate the mean and variance of the group of x-values, x_{ij}, obtained at each ageing time τ_i:

$$\bar{x}_i = \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} / n_i \tag{17}$$

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

$$s_{1i}^2 = \left(\sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}^2 - n_i \, \bar{x}_i^2 \right) \Big/ (n_i - 1) \tag{18}$$

6.4.2 Moyennes et variances générales

Calculer N, le nombre total de valeurs x_{ij}, $(\bar{x}_i)$, la valeur moyenne pondérée de x, et $(\bar{y})$, la valeur moyenne pondérée de y:

$$N = \sum_{i=1}^{k} n_i \tag{19}$$

$$\bar{x} = \sum n_i \bar{x}_i / N \tag{20}$$

$$\bar{y} = \sum n_i y_i / N \tag{21}$$

Calculer la variance combinée au sein des groupes de données:

$$s_1^2 = \sum_{i=1}^{k} (n_i - 1) s_{1i}^2 / (N - k) \tag{22}$$

Calculer le moment centré d'ordre deux des valeurs de y:

$$\mu_2(y) = \frac{\left(\sum_{i=1}^{k} n_i y_i^2 - N \bar{y}^2 \right)}{N} \tag{23}$$

6.4.3 Régression

Dans l'expression de la droite de régression:

$$x = a + by \tag{24}$$

Calculer la pente:

$$b = \frac{\left(\sum_{i=1}^{k} n_i \bar{x}_i y_i - N \bar{x} \bar{y} \right)}{\left(\sum_{i=1}^{k} n_i y_i^2 - N \bar{y}^2 \right)} \tag{25}$$

l'intersection avec l'axe y

$$a = \bar{x} - b \bar{y} \tag{26}$$

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

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

$$s_{1i}^2 = \left(\sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}^2 - n_i \, \bar{x}_i^2 \right) \Big/ (n_i - 1) \tag{18}$$

6.4.2 General means and variances

Calculate the total number of x_{ij} values, N, the weighted mean value of x, $(\bar{x}_i)$, and the weighted mean value of y, $(\bar{y})$:

$$N = \sum_{i=1}^{k} n_i \tag{19}$$

$$\bar{x} = \sum n_i \bar{x}_i / N \tag{20}$$

$$\bar{y} = \sum n_i y_i / N \tag{21}$$

Calculate the pooled variance within the data groups:

$$s_1^2 = \sum_{i=1}^{k} (n_i - 1) s_{1i}^2 / (N - k) \tag{22}$$

Calculate the second central moment of the y values:

$$\mu_2(y) = \frac{\left(\sum_{i=1}^{k} n_i y_i^2 - N \bar{y}^2 \right)}{N} \tag{23}$$

6.4.3 Regression

In the expression for the regression line:

$$x = a + by \tag{24}$$

Calculate the slope:

$$b = \frac{\left(\sum_{i=1}^{k} n_i \bar{x}_i y_i - N \bar{x} \bar{y} \right)}{\left(\sum_{i=1}^{k} n_i y_i^2 - N \bar{y}^2 \right)} \tag{25}$$

the intercept on the y-axis

$$a = \bar{x} - b \bar{y} \tag{26}$$

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

et le carré du coefficient de corrélation:

$$r^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^{k} n_i \bar{x}_i y_i - N \bar{x}\,\bar{y}\right)^2}{\left(\sum_{i=1}^{k} n_i \bar{x}_i^2 - N \bar{x}^2\right)\left(\sum_{i=1}^{k} n_i y_i^2 - N \bar{y}^2\right)} \tag{27}$$

Calculer la variance des écarts types des moyennes de x à partir de la droite de régression:

$$s_2^2 = \sum_{i=1}^{k} \frac{n_i \left(\bar{x}_i - \hat{X}_i\right)^2}{(k-2)} \quad , \quad \hat{X}_i = a + b\, y_i \tag{28}$$

ou

$$s_2^2 = \frac{\left(1 - r^2\right)}{(k-2)}\left(\sum_{i=1}^{k} n_i \bar{x}_i^2 - N \bar{x}^2\right) \tag{29}$$

6.5 Essais statistiques

6.5.1 Essai d'égalité de variance

Calculer la valeur de la fonction χ^2 de Bartlett:

$$\chi^2 = \frac{\ln q}{c}\left[(N-k)\log_q s_1^2 - \sum_{i=1}^{k}(n_i - 1)\log_q s_{1i}^2\right] \tag{30}$$

où

$$c = 1 + \frac{\left(\sum_{i=1}^{k} \frac{1}{(n_i - 1)} - \frac{1}{(N-k)}\right)}{3(k-1)} \tag{31}$$

q est la base des logarithmes utilisée dans cette équation. Il n'est pas nécessaire qu'elle soit la même que celle utilisée par ailleurs dans les calculs du présent article.

Si q = 10, ln q = 2,303; si q = e, ln q = 1.

Comparer la valeur de χ^2 avec la valeur donnée dans les tableaux pour des degrés de liberté f = (k – 1) (Tableau C.1).

Si la valeur de χ^2 est supérieure à la valeur tabulée pour un niveau de confiance 0,05, noter la valeur de χ^2 et le niveau significatif donné dans les tableaux pour la plus haute valeur inférieure à χ^2.

Ou bien, si χ^2 et le niveau de confiance sont tous deux calculés par ordinateur, les consigner.

6.5.2 Essai de linéarité (essai-*F*)

La variance des écarts types à partir de la droite de régression s_2^2 est comparée à la variance combinée au sein des groupes de mesure k s_1^2 à l'aide de l'essai-F au niveau de confiance 0,05.

Calculer le rapport

$$F = s_2^2 / s_1^2 \tag{32}$$

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

and the square of the correlation coefficient:

$$r^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^{k} n_i \bar{x}_i y_i - N \bar{x}\,\bar{y}\right)^2}{\left(\sum_{i=1}^{k} n_i \bar{x}_i^2 - N \bar{x}^2\right)\left(\sum_{i=1}^{k} n_i y_i^2 - N \bar{y}^2\right)} \tag{27}$$

Calculate the variance of the deviations of the x-means from the regression line:

$$s_2^2 = \sum_{i=1}^{k} \frac{n_i \left(\bar{x}_i - \hat{X}_i\right)^2}{(k-2)} \quad , \quad \hat{X}_i = a + b\, y_i \tag{28}$$

or

$$s_2^2 = \frac{\left(1 - r^2\right)}{(k-2)}\left(\sum_{i=1}^{k} n_i \bar{x}_i^2 - N \bar{x}^2\right) \tag{29}$$

6.5 Statistical tests

6.5.1 Variance equality test

Calculate the value of Bartlett's χ^2 function:

$$\chi^2 = \frac{\ln q}{c}\left[(N-k)\log_q s_1^2 - \sum_{i=1}^{k}(n_i - 1)\log_q s_{1i}^2\right] \tag{30}$$

where

$$c = 1 + \frac{\left(\sum_{i=1}^{k} \frac{1}{(n_i - 1)} - \frac{1}{(N-k)}\right)}{3(k-1)} \tag{31}$$

q is the base of the logarithms used in this equation. It need not be the same as that used in the calculations elsewhere in this clause.

If q = 10, ln q = 2,303; if q = e, ln q = 1.

Compare the value of χ^2 with the tabulated value for $f = (k\text{-}1)$ degrees of freedom (Table C.1).

If the value of χ^2 is greater than the value tabulated for a significance level of 0,05, report the value of χ^2 and the significance level tabulated for the highest value less than χ^2.

Alternatively, if both χ^2 and its significance level are calculated by a computer program, report these.

6.5.2 Linearity test (F-test)

The variance of the deviations from the regression line s_2^2 is compared with the pooled variance within the k groups of measurements s_1^2 by the F-test at a significance level of 0,05.

Calculate the ratio

$$F = s_2^2 / s_1^2 \tag{32}$$

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

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

et comparer cette valeur avec la valeur donnée dans les tableaux F_0 avec les degrés de liberté $f_n = k - 2$ et $f_d = N - k$ (Tableau C.3).

$$F_0 = F(0{,}95,\ k\text{-}2,\ N - k)$$

a) Si $F \leq F_0$ calculer l'estimation de variance combinée

$$s^2 = \frac{(N-k)s_1^2 + (k-2)s_2^2}{(N-2)} \tag{33}$$

b) Si $F > F_0$, ajuster s_1^2 à $\left(s_1^2\right)_a = s_1^2(F / F_0)$ et calculer une valeur ajustée de s^2

$$s_a^2 = \frac{(N-k)\left(s_1^2\right)_a + (k-2)s_2^2}{(N-2)} \tag{34}$$

6.5.3 Estimations de x et y et de leurs limites de confiance

Obtenir la valeur donnée dans les tableaux du paramètre t de Student avec N -2 degrés de liberté à un niveau de confiance 0,95, $t_{0,95,\ N\text{-}2}$ (Tableau C.2).

a) estimations de X

Calculer la valeur Y correspondant à la durée τ pour laquelle l'estimation est demandée:

Calculer la valeur estimée de X correspondant au Y donné et ses limites supérieures au niveau de confiance à 95 % $\hat{X}_c$:

$$\hat{X}_c = \hat{X} + t\,s_x \quad ; \quad \hat{X} = a - bY \quad ; \quad t = t_{\,0,95,\ N-2} \tag{35}$$

$$s_x^2 = \frac{s^2}{N}\left[1 + \frac{(Y - \bar{y})^2}{\mu_2(y)}\right] \tag{36}$$

où
$$Y = \log \tau \tag{37}$$

Calculer les températures correspondant aux valeurs de $\hat{X}$ and $\hat{X}_c$:

$$\vartheta = \frac{1}{X} - \Theta_0 \tag{38}$$

Pour la courbe de limite de confiance du graphique d'endurance thermique (voir 6.6), $\hat{X}_c$ est calculée pour plusieurs valeurs de Y sur une plage d'intérêt, et une courbe régulière passant par les points ($\hat{X}_c$,Y) reportés sur le graphique est dessinée.

Si $F > F_0$, la valeur de s^2 doit être remplacée par s_a^2 (équation 34).

b) estimations de Y

Calculer la valeur de $\hat{Y}$ et sa limite inférieure au niveau de confiance 95 %, correspondant à la température de fin de vie ϑ_f

$$\hat{Y}_c = \bar{y} + \frac{(X - \bar{x})}{b_r} - \frac{t\ s_r}{b_r} \quad , \quad t = t_{\,0,95,\ N-2}, \tag{39}$$

$$X = 1/(\vartheta_f + \Theta_0) \quad : \quad \hat{Y} = (X - a)/b \tag{40}$$

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

and compare its value with the tabulated value F_0 with $f_n = k - 2$ and $f_d = N - k$ degrees of freedom (Table C.3).

$$F_0 = F(0{,}95,\ k\text{-}2,\ N-k)$$

a) If $F \le F_0$ calculate the pooled variance estimate

$$s^2 = \frac{(N-k)s_1^2 + (k-2)s_2^2}{(N-2)} \tag{33}$$

b) If $F > F_0$, adjust s_1^2 to $\left(s_1^2\right)_a = s_1^2(F/F_0)$ and calculate an adjusted value of s^2

$$s_a^2 = \frac{(N-k)\left(s_1^2\right)_a + (k-2)s_2^2}{(N-2)} \tag{34}$$

6.5.3 Estimates of x and y and their confidence limits

Obtain the tabulated value of Student's t with N-2 degrees of freedom at a confidence level of 0,95, $t_{0,95,\ N\text{-}2}$ (Table C.2).

a) X-estimates

Calculate the Y-value corresponding to the time, τ, at which the estimate is required:

Calculate the estimated value of X corresponding to the given Y, and its upper 95 % confidence limit $\hat{X}_c$:

$$\hat{X}_c = \hat{X} + t\,s_x \quad ; \quad \hat{X} = a - bY \quad ; \quad t = t_{\,0,95,\ N-2} \tag{35}$$

$$s_x^2 = \frac{s^2}{N}\left[1 + \frac{(Y-\bar{y})^2}{\mu_2(y)}\right] \tag{36}$$

where

$$Y = \log \tau \tag{37}$$

Calculate the temperatures corresponding to the values of $\hat{X}$ and $\hat{X}_c$:

$$\vartheta = \frac{1}{X} - \Theta_0 \tag{38}$$

For the confidence limit curve of the thermal endurance graph (see 6.6), $\hat{X}_c$ is calculated for several values of Y over the range of interest, and a smooth curve drawn through the points ($\hat{X}_c$, Y) plotted on the graph.

If $F > F_0$ the value of s^2 shall be replaced by s_a^2 (equation 34).

b) Y-estimates

Calculate the value of $\hat{Y}$ and its lower 95 % confidence limit, corresponding to an end-point temperature ϑ_f

$$\hat{Y}_c = \bar{y} + \frac{(X-\bar{x})}{b_r} - \frac{t\,s_r}{b_r} \quad , \quad t = t_{\,0,95,\ N-2}, \tag{39}$$

$$X = 1/(\vartheta_f + \Theta_0) \quad : \quad \hat{Y} = (X-a)/b \tag{40}$$

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

$$b_{\mathrm{r}} = b - \frac{t^2 s^2}{N\, b\, \mu_2(y)} \tag{41}$$

$$s_{\mathrm{r}}^2 = \frac{s^2}{N}\left(\frac{b_{\mathrm{r}}}{b} + \frac{\left(\hat{Y} - \bar{y}\right)^2}{\mu_2(y)}\right) \tag{42}$$

L'estimation du temps et sa limite inférieure au niveau de confiance 95 % doivent être calculés à partir de l'estimation Y correspondante et de sa limite de confiance inférieure:

$$\tau = \mathrm{q}^{\hat{Y}} \quad , \quad \tau_{\mathrm{c}} = \mathrm{q}^{\hat{Y}_{\mathrm{c}}} \tag{43}$$

où q est la base de logarithmes utilisée dans les calculs (voir la Note de 6.1.1).

6.6 Graphique d'endurance thermique

Quand la droite de régression a été établie, elle est tracée sur le graphique d'endurance thermique, c'est-à-dire un graphique avec y = log(τ) en ordonnée et $x = 1/(\vartheta + \Theta_0)$ en abscisse. Généralement, x est porté de manière croissante de la droite vers la gauche et les valeurs correspondantes de ϑ en degrés Celsius (ºC) sont marquées sur cet axe (voir Figure E.2). Un papier graphique spécial existe pour cet usage.

Autrement, un programme exécutant ce calcul peut inclure un sous-programme pour tracer le graphique sur l'échelle non linéaire appropriée.

Les valeurs individuelles x_{ij} et les valeurs moyennes $\bar{x}_i$ obtenues selon 6.4.1 sont tracées sur le graphique aux valeurs correspondantes de y_i:

$$y_i = \log \tau_i \tag{44}$$

Le graphique d'endurance thermique peut être complété en dessinant la courbe inférieure de confiance à 95 % (voir 6.5.3).

7 Calcul et exigences pour résultats

7.1 Calcul des caractéristiques d'endurance thermique

En utilisant l'équation de régression

$$y = (x - a)/\, b \tag{45}$$

(les coefficients a et b étant calculés conformément à 6.4.3), calculer la température en degrés Celsius (°C) correspondant à la durée jusqu'en fin de vie de 20 kh, TI_{20}. La valeur numérique de cette température est l'indice de température, TI.

Calculer de la même manière la valeur numérique de la température correspondant à la durée jusqu'à une fin de vie de 10 kh, TI_{10}. L'intervalle de divisions par deux HIC est:

$$\mathrm{HIC} = \mathrm{TI}_{10} - \mathrm{TI}_{20} \tag{46}$$

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

$$b_r = b - \frac{t^2 s^2}{N\, b\, \mu_2(y)} \tag{41}$$

$$s_r^2 = \frac{s^2}{N}\left(\frac{b_r}{b} + \frac{\left(\hat{Y} - \bar{y}\right)^2}{\mu_2(y)}\right) \tag{42}$$

The time estimate and its lower 95 % confidence limit shall be calculated from the corresponding Y estimate and its lower confidence limit :

$$\tau = q^{\hat{Y}} \quad , \quad \tau_c = q^{\hat{Y}_c} \tag{43}$$

where q is the base of the logarithms used in the calculations (see Note in 6.1.1).

6.6 Thermal endurance graph

When the regression line has been established, it is drawn on the thermal endurance graph, i.e. a graph with y = log(τ) as ordinate and $x = 1/(\vartheta + \Theta_0)$ as abscissa. Usually x is plotted as increasing from right to left and the corresponding values of ϑ in degrees Celsius (°C) are marked on this axis (see Figure E.2). Special graph paper is obtainable for this purpose.

Alternatively a computer program executing this calculation may include a subroutine to plot the graph on the appropriate non-linear scale.

The individual values x_{ij} and the mean values $\bar{x}_i$ obtained as in 6.4.1 are plotted on the graph at the corresponding values of y_i:

$$y_i = \log \tau_i \tag{44}$$

The thermal endurance graph may be completed by drawing the lower 95 % confidence curve (see 6.5.3).

7 Calculation and requirements for results

7.1 Calculation of thermal endurance characteristics

Using the regression equation

$$y = (x - a)/\, b \tag{45}$$

(the coefficients a and b being calculated according to 6.4.3), calculate the temperature in degrees Celsius (°C) corresponding to a time to end-point of 20 kh, TI_{20}. The numerical value of this temperature is the temperature index, TI.

Calculate by the same method the numerical value of the temperature corresponding to a time to end-point of 10 kh, TI_{10}. The halving interval HIC is :

$$HIC = TI_{10} - TI_{20} \tag{46}$$

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

Calculer de la même manière qu'en 6.5.3 a), avec Y = log 20 000, la valeur limite inférieure de TI au niveau de confiance 95 %: TC ou TC_a si la valeur ajustée s_a^2 est utilisée.

Déterminer la valeur de (TI – TC)/HIC ou de (TI – TC_a)/HIC.

Tracer le graphique d'endurance thermique (voir 6.6).

7.2 Ecriture des résultats

7.2.1 Résumé des essais statistiques et des rapports

Dans l'Annexe B, si la condition de la colonne titrée «Essai» n'est pas satisfaite, l'action est celle qui est indiquée dans la dernière colonne. Si la condition est satisfaite, l'action est celle qui est indiquée à l'étape suivante. La même séquence est indiquée dans l'organigramme de décision (voir Annexe A) pour le calcul d'endurance thermique.

7.2.2 Format du rapport

Si la valeur de (TI – TC)/HIC est $\leq$ 0,6, le résultat d'essai doit être noté selon le format

$$\mathrm{TI}(\mathrm{HIC}):\ .....(.....) \tag{47}$$

conformément à 6.8 de la CEI 60216-1.

Si 0,6 < (TI – TC)/HIC $\leq$ 1,6 et que pour la même durée, $F \leq F_0$ (voir 6.3.2), la valeur

$$\mathrm{TI_a} = \mathrm{TC} + 0{,}6\,\mathrm{HIC} \tag{48}$$

ainsi que HIC doivent être notés comme TI (HIC):....(…).

Dans tous les autres cas, les résultats doivent être notés selon le format

$$\mathrm{TI_g} = ... : \mathrm{HIC_g} = ... \tag{49}$$

8 Rapport

Le rapport d'essai doit comprendre:

a) une description du matériau d'essai incluant les dimensions et tout ce qui concerne le conditionnement des éprouvettes;
b) la propriété recherchée, la fin de vie choisie, et si il était demandé de la déterminer, la valeur initiale de la propriété;
c) la méthode d'essai utilisée pour déterminer la propriété (par exemple en référence à une publication CEI);
d) toute information pertinente concernant la méthode d'essai, par exemple l'environnement de vieillissement;
e) les durées d'essais individuels, les températures de vieillissement et les valeurs de propriétés individuelles, les graphiques de variation de propriété avec température de vieillissement;
f) le graphique d'endurance thermique;
g) l'indice de température et l'intervalle de division par deux, notés dans le format défini en 7.2.2;
h) la valeur de χ^2 et de P, si cela est requis en 6.5.1.

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

Calculate by the method of 6.5.3 a), with Y = log 20 000, the lower 95 % confidence limit of TI: TC or TC_a if the adjusted value s_a^2 is used.

Determine the value of (TI – TC)/HIC or (TI – TC_a)/HIC.

Plot the thermal endurance graph (see 6.6).

7.2 Reporting of results

7.2.1 Summary of statistical tests and reporting

In Annex B, if the condition in the column headed "Test" is not met, the action is as indicated in the final column. If the condition is met, the action is as indicated at the next step. The same sequence is indicated in the decision flow chart for thermal endurance calculations, (see Annex A).

7.2.2 Report format

If the value of (TI – TC)/HIC is ≤ 0,6, the test result shall be reported in the format

$$\mathrm{TI}(\mathrm{HIC}): \quad .....(.....) \tag{47}$$

in accordance with 6.8 of IEC 60216-1.

If 0,6 < (TI – TC)/HIC ≤1,6 and at the same time, $F \le F_0$ (see 6.3.2), the value

$$\mathrm{TI_a} = \mathrm{TC} + 0{,}6\mathrm{HIC} \tag{48}$$

together with HIC shall be reported as TI (HIC):....(...).

In all other cases the result shall be reported in the format

$$\mathrm{TI_g} = ... : \mathrm{HIC_g} = ... \tag{49}$$

8 Report

The test report shall include:

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

b) the property investigated, the chosen end-point, and, if it was required to be determined, 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 times, the ageing temperatures and individual property values, with the graphs of variation of property with ageing temperature;

f) the thermal endurance graph;

g) the temperature index and halving interval reported in the format defined in 7.2.2;

h) the value of χ^2 and P if required by 6.5.1.

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

9 Détermination du RTE

9.1 Objectifs de la détermination du RTE

Les objectifs de la détermination sont les suivants.

a) Exploiter une relation supposée exister entre l'endurance thermique (avec un critère d'essai approprié pour le vieillissement) et les performances en service, et utiliser ce résultat afin de prédire une valeur pour l'évaluation initiale de la température en service d'un matériau pour lequel l'expérience en service est relativement faible (par comparaison avec un matériau de contrôle connu – voir les Articles 11 et 12).

NOTE Dans la majorité des cas, cela impliquera une extrapolation sur une durée plus longue ou une température plus basse que pour les données expérimentales. Il convient que cette extrapolation soit minimale, par un choix approprié des températures et des durées de vieillissement (voir l'Article D.2 et la Figure E.5), car l'incertitude des résultats augmente rapidement avec l'extrapolation. Cependant, même s'il n'y a pas d'extrapolation, il y a toujours une incertitude non nulle compte tenu des variances des données expérimentales et des autres erreurs expérimentales.

b) Améliorer la précision d'une détermination d'endurance thermique par diminution des erreurs systématiques dans le processus de vieillissement. Si, après vieillissement, les résultats pour le matériau de contrôle sont considérés comme très différents par rapport à une expérience précédente, cela peut indiquer des variations dans le matériau ou le matériel. Cela peut être vérifié et éventuellement corrigé. Dans tous les cas, le vieillissement simultané du matériau de contrôle et du matériau candidat compensera au moins partiellement les variations systématiques. Les méthodes statistiques à utiliser pour évaluer la signification des variations sont rappelées à l'Annexe F .

10 Symboles additionnels

Ces symboles sont additionnels à ceux de 3.2 et ne concernent que les Articles 11 à 13.

Symbole	Description	Articles
A	Indice indiquant le matériau de contrôle	
ATE	Caractéristique d'endurance thermique connue du matériau de contrôle	12.3
B	Indice indiquant le matériau candidat	
$HIC_{B(c)}$	Intervalle de division par deux du matériau candidat au temps de corrélation	13.1
N_D	Nombre total de valeurs en données combinées des matériaux candidat et de contrôle	12.4
RTE	Caractéristique de température estimée de matériau candidat (indice de température au temps de corrélation)	12.3
s_D^2	Variance de données combinées de matériaux candidat et de contrôle	12.4
s_D	Erreur type du RTE (racine carrée de s_D^2)	12.4
x_A	Valeur de température thermodynamique inverse de l'ATE	12.3
x_B	Valeur de température thermodynamique inverse du RTE	12.3
$X_{c(B)}$	Limite de confiance de x_B	12.4
Y_c	Logarithme du temps de corrélation	12.3
τ_c	Temps de corrélation (temps correspondant à l'ATE du matériau de contrôle)	12.3

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

9 RTE determination

9.1 Objectives of RTE determination

The objectives of the determination are as follows.

a) To exploit an assumed relationship between thermal endurance (with an appropriate test criterion for ageing) and service performance, and to use this to predict a value for initial assessment of service temperature of a material for which there is relatively little service experience (by comparison with a known control material – see Clauses 11 and 12).

NOTE In the majority of cases, this will involve extrapolation to a longer time or lower temperature than is present in the experimental data. This extrapolation should be kept to a minimum by appropriate choice of ageing temperatures and times (see Clause D.2 and Figure E.5), since the uncertainty in the result increases rapidly as the extrapolation is increased. However, even when there is no extrapolation, there is still a non-zero uncertainty, on account of the variances of the experimental data and other experimental errors.

b) To improve the precision of a thermal endurance determination by reduction of systematic errors in the ageing process. If after ageing, the results for the control material are found to be significantly different from earlier experience, this may indicate changes in material or equipment. This may be investigated and possibly corrected. In any case, the simultaneous ageing of control and candidate will at least partially compensate for systematic changes. Statistical procedures for use in assessing the significance of changes are outlined in Annex F.

10 Additional symbols

These symbols are additional to those of 3.2 and are relevant only to Clauses 11 to 13.

Symbol	Description	Clause
A	Subscript indicating control material	
ATE	Known thermal endurance characteristic of control material	12.3
B	Subscript indicating candidate material	
$HIC_{B(c)}$	Halving interval of candidate material at correlation time	13.1
N_D	Total number of values in combined data of candidate and control materials	12.4
RTE	Estimated thermal endurance characteristic of candidate material (temperature index at correlation time)	12.3
s_D^2	Variance of combined data of candidate and control materials	12.4
s_D	Standard error of RTE (square root of s_D^2)	12.4
x_A	Reciprocal thermodynamic temperature of ATE	12.3
x_B	Reciprocal thermodynamic temperature of RTE	12.3
$X_{c(B)}$	Confidence limit of x_B	12.4
Y_c	Logarithm of correlation time	12.3
τ_c	Correlation time (time corresponding to ATE of control material)	12.3

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

τ_k	Durée de vieillissement la plus longue	12.5
ϑ_{RTE}	Valeur du RTE en degrés Celsius	12.3
$\vartheta_{c(B)}$	Limite de confiance du RTE (supérieure ou inférieure)	12.4
ϑ_{lc}	Limite de confiance inférieure du RTE	12.4
Δ_R	Intervalle de confiance inférieur du RTE	12.4

11 Méthodes expérimentales

11.1 Choix du matériau de contrôle

L'exigence initiale pour le matériau de contrôle est que la valeur d'ATE pour l'application à l'étude soit connue. S'il est déterminé par une méthode d'endurance thermique, l'ATE doit être soutenu par une expérience en service réelle. Les bases de l'ATE doivent être consignées.

Les mécanismes de vieillissement attendus des deux matériaux et leur vitesse d'évolution doivent être similaires et doivent correspondre à l'application.

11.2 Choix d'un essai de diagnostic pour l'importance du vieillissement

L'essai de diagnostic doit être un de ceux qui sont considérés comme adaptés à l'application pour laquelle le RTE est requis. Le même essai et la même fin de vie doivent être appliqués à la fois au matériau de contrôle et au matériau candidat.

11.3 Méthodes de vieillissement

Le nombre et le type d'éprouvettes ainsi que les températures et durées de vieillissement pour l'un et l'autre des matériaux doivent être conformes à l'Article 5. Dans le cadre des recommandations de l'Annexe D, il est recommandé que la température de vieillissement la plus basse soit la plus faible des valeurs de TI prévues pour les deux matériaux.

Pour chaque température de vieillissement, la charge de l'étuve doit être fonction du nombre approprié d'éprouvettes correspondant aux deux matériaux. Les éprouvettes doivent être réparties dans l'étuve de manière à éviter toute différence systématique entre les conditions appliquées aux éprouvettes correspondant aux deux matériaux.

12 Méthodes de calcul

12.1 Principes généraux

La base des calculs est de calculer les caractéristiques d'endurance thermique de l'ensemble des matériaux (voir 6.1 et 9.1a)).

A partir des données d'endurance thermique obtenues pour le matériau de contrôle, le temps pendant lequel l'indice de température est égal à sa caractéristique de température connue est calculé (il s'agit du temps appelé «temps de corrélation»). A partir des données d'endurance thermiques obtenues pour le matériau candidat, l'indice de température est calculé au temps de corrélation. Cette valeur est le RTE souhaité.

Les intervalles de confiance associés au résultat sont calculés à l'aide de méthodes statistiques normalisées.

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

τ_k	Longest ageing time	12.5
ϑ_{RTE}	Value of RTE in degrees Celsius	12.3
$\vartheta_{\mathrm{c(B)}}$	Confidence limit of RTE (upper or lower)	12.4
ϑ_{lc}	Lower confidence limit of RTE	12.4
Δ_R	Lower confidence interval of RTE	12.4

11 Experimental procedures

11.1 Selection of control material

The primary requirement for the control material is that the value of ATE for the application under consideration is known. The ATE, if determined by a thermal endurance procedure, shall be supported by actual service experience. The basis of the ATE shall be reported.

The expected ageing mechanisms and rates of both materials shall be similar and relevant to the application.

11.2 Selection of diagnostic test for extent of ageing

The diagnostic test shall be one considered relevant to the application for which the RTE is required. The same test and end-point shall be applied to both control and candidate material.

11.3 Ageing procedures

The number and type of test specimens and the ageing times and temperatures for both materials shall be as specified in Clause 5. If employing the recommendations of Annex D, the lowest ageing temperature should be the lower of the expected TI values for the two materials.

At each ageing temperature, the oven load shall comprise appropriate numbers of specimens of both materials. The specimens shall be distributed in the oven so that there is likely to be no systematic difference between the conditions applied to the specimens of the two materials.

12 Calculation procedures

12.1 General principles

The basis of the calculations is to calculate the thermal endurance characteristics of both materials (see 6.1.1 and 9.1a)).

From the thermal endurance data obtained for the control material, the time is calculated at which the temperature index is equal to its known temperature characteristic (this is the time referred to as the "correlation time"). From the thermal endurance data obtained for the candidate material, the temperature index is calculated at the correlation time. This value is the desired RTE.

The confidence intervals associated with this result are calculated by standard statistical procedures.

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

12.2 Données d'entrée

Pour l'ensemble des matériaux, candidat et de contrôle, les valeurs de données intermédiaires suivantes sont demandées pour le calcul de TI (voir 6.4).

Valeur intermédiaire	Symbole	Équation
Pente de la droite de régression par rapport à l'axe des y	b	(25)
Intersection avec la droite de régression sur l'axe des x	a	(26)
Moyenne pondérée des valeurs de y	$\bar{y}$	(21)
Moment centré d'ordre deux des valeurs de y	$\mu_2(y)$	(23)
Moyenne pondérée des valeurs de données de x	$\bar{x}$	(20)
Variance combinée totale des valeurs de x	s^2	(33) ou (34)
Nombre de valeurs de x	N	(19)
Intervalle de division par deux	HIC	(46)
Durée de vieillissement la plus longue	τ_k	

12.3 RTE

Calculer la valeur de température thermodynamique inverse de l'ATE:

$$x_A = \frac{1}{(\mathrm{ATE} + \Theta_0)} \tag{50}$$

Calculer les temps de corrélation τ_c and Y_c, leurs logarithmes

$$Y_c = \frac{(x_A - a_A)}{b_A} \qquad \tau_c = q^{Y_c} \tag{51}$$

où q est la base de logarithmes utilisée dans les calculs (voir la Note de 6.1.1).

Calculer l'estimation de x au temps de corrélation pour le matériau candidat

$$x_B = a_B + Y_c\ b_B \tag{52}$$

La valeur du RTE est

$$\vartheta_{RTE} = \frac{1}{x_B} - \Theta_0 \tag{53}$$

12.4 Limites de confiance

Calculer l'estimation de x au temps de corrélation pour le matériau de contrôle

$$x_A = a_A + Y_c\ b_A \tag{54}$$

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

12.2 Input data

For both materials, control and candidate, the following intermediate data values are required from the calculations of TI (see 6.4).

Intermediate value	Symbol	Equation
Slope of regression line relative to y-axis	b	(25)
Intercept of regression line on x-axis	a	(26)
Weighted mean of y-values	$\bar{y}$	(21)
Central 2nd moment of y-values	$\mu_2(y)$	(23)
Weighted mean of data x-values	$\bar{x}$	(20)
Pooled total variance of data x-values	s^2	(33) or (34)
Number of x-values	N	(19)
Halving interval	HIC	(46)
Longest ageing time	τ_k	

12.3 RTE

Calculate the reciprocal thermodynamic temperature of ATE:

$$x_{\mathrm{A}} = \frac{1}{(\mathrm{ATE} + \Theta_0)} \tag{50}$$

Calculate the correlation time τ_{c} and Y_{c}, its logarithm

$$Y_{\mathrm{c}} = \frac{(x_{\mathrm{A}} - a_{\mathrm{A}})}{b_{\mathrm{A}}} \qquad \tau_{\mathrm{c}} = \mathrm{q}^{Y_{\mathrm{c}}} \tag{51}$$

where q is the base of logarithms used in the calculations (see Note in 6.1.1).

Calculate the estimate of x at the correlation time for the candidate material

$$x_{\mathrm{B}} = a_{\mathrm{B}} + Y_{\mathrm{c}}\ b_{\mathrm{B}} \tag{52}$$

The value of RTE is

$$\vartheta_{\mathrm{RTE}} = \frac{1}{x_{\mathrm{B}}} - \Theta_0 \tag{53}$$

12.4 Confidence limits

Calculate the estimate of x at the correlation time for the control material

$$x_{\mathrm{A}} = a_{\mathrm{A}} + Y_{\mathrm{c}}\ b_{\mathrm{A}} \tag{54}$$

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

NOTE Numériquement, x_A est égal à X_A. Cependant, cette dernière est une quantité scalaire (c'est-à-dire non variable) alors que la précédente est aléatoire et distribuée suivant une loi normale. La variance de l'estimation de RTE est déterminée par la variance de la différence entre x_A et x_B.

Calculer la variance de x_A

$$s_A^2 = \left[s^2 \left(1 + \frac{(Y_c - \bar{y})^2}{\mu_{2(y)}} \right) \right]_A \quad (55)$$

De la même façon, calculer la variance de x_B

$$s_B^2 = \left[s^2 \left(1 + \frac{(Y_c - \bar{y})^2}{\mu_{2(y)}} \right) \right]_B \quad (56)$$

Calculer la valeur du rapport de variance, F

$$F = \frac{s_B^2}{s_A^2} \text{ si } s_B^2 > s_A^2 \text{, autrement } F = \frac{s_A^2}{s_B^2} \quad (57)$$

Si la valeur de F est inférieure à la valeur du Tableau C.3 pour des degrés de liberté $f_n = N_A - 2$ et $f_d = N_B - 2$, alors les variances ne sont pas considérées différentes de façon significative. Dans ce cas, fusionner les variances, en utilisant les équations (58) et (59), ou bien en utilisant les équations (60) et (61).

Variances statistiquement égales:

$$s_D^2 = \frac{s_A^2 (N_A - 2) + s_B^2 (N_B - 2)}{(N_A + N_B - 4)} \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_B} \right) \quad (58)$$

$$N_D = (N_A + N_B - 4) \quad (59)$$

Variances statistiquement inégales:

$$s_D^2 = \frac{s_A^2}{N_A} + \frac{s_B^2}{N_B} \quad (60)$$

$$N_D = \frac{\left(s_D^2 \right)^2}{\frac{\left(\frac{s_A^2}{N_A} \right)^2}{N_A - 2} + \frac{\left(\frac{s_B^2}{N_B} \right)^2}{N_B - 2}} \quad (61)$$

Si, dans le second cas, N_D n'est pas entier, arrondir sa valeur à l'entier le plus proche.

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

NOTE Numerically, x_A is equal to X_A. However, the latter is a scalar (i.e. non-variable) quantity while the former is random and normally distributed. The variance of the estimate of RTE is determined by the variance of the difference of x_A and x_B.

Calculate the variance of x_A

$$s_A^2 = \left[s^2 \left(1 + \frac{(Y_c - \bar{y})^2}{\mu_{2(y)}} \right) \right]_A \quad (55)$$

Similarly, calculate the variance of x_B

$$s_B^2 = \left[s^2 \left(1 + \frac{(Y_c - \bar{y})^2}{\mu_{2(y)}} \right) \right]_B \quad (56)$$

Calculate the value of the variance ratio, F

$$F = \frac{s_B^2}{s_A^2} \text{ if } s_B^2 > s_A^2 \text{, otherwise } F = \frac{s_A^2}{s_B^2} \quad (57)$$

If the value of F is less than the value in Table C.3 for $f_n = N_A - 2$ and $f_d = N_B - 2$ degrees of freedom, then the variances are not considered significantly different. In this case, merge the variances, using equations (58) and (59), otherwise using equations (60) and (61).

Statistically equal variances:

$$s_D^2 = \frac{s_A^2 (N_A - 2) + s_B^2 (N_B - 2)}{(N_A + N_B - 4)} \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_B} \right) \quad (58)$$

$$N_D = (N_A + N_B - 4) \quad (59)$$

Statistically unequal variances:

$$s_D^2 = \frac{s_A^2}{N_A} + \frac{s_B^2}{N_B} \quad (60)$$

$$N_D = \frac{\left(s_D^2 \right)^2}{\frac{\left(\frac{s_A^2}{N_A} \right)^2}{N_A - 2} + \frac{\left(\frac{s_B^2}{N_B} \right)^2}{N_B - 2}} \quad (61)$$

If, in the second case, N_D is not integral, round its value to the nearest integer.

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

Calculer les limites de confiance de X_B

$$X_{c(B)} = X_B \pm t_{(N_D)}\ s_D \tag{62}$$

où $t_{(N_D)}$ est la valeur de t dans le Tableau C.2 pour un degré de liberté $t_{(N_D)}$.

Les limites de confiance du RTE sont

$$\vartheta_{c(B)} = \frac{1}{X_B \pm t_{(N_D)}\ s_D} - \Theta_0 \tag{63}$$

Normalement, ϑ_{lc}, la limite de confiance inférieure du RTE est demandée; elle correspond à la limite de confiance supérieure de X_B.

L'intervalle de confiance inférieur Δ_R doit être calculé par l'équation (64)

$$\Delta_R = \vartheta_{RTE} - \vartheta_{lc} \tag{64}$$

12.5 Extrapolation

Calculer l'extrapolation comme le rapport $\frac{\tau_c}{\tau_k}$.

13 Résultats et rapport

13.1 Résultats des essais statistiques et numériques

Les critères suivants s'appliquent.

a) Linéarité de la relation d'endurance thermique (voir 6.3.2 et 6.3.3 de la CEI 60216-3). Les données concernant les matériaux de contrôle et les matériaux candidat doivent satisfaire aux exigences de la CEI 60216-3.

b) Extrapolation au temps de corrélation (voir 12.5). L'extrapolation, exprimée comme le rapport entre le temps de corrélation et le temps de vieillissement le plus important, doit être inférieure à 4.

c) L'intervalle de confiance inférieur du RTE (voir 12.4). La valeur de Δ_R doit être inférieure à l'intervalle de division par deux ($HIC_{B(c)}$) du matériau candidat, pour une durée égale au temps de corrélation (voir 7.1 de la CEI 60216-3).

$$HIC_{B(c)} = b_B \left[\frac{1}{(\ln(\tau_c / 2) - a_B)} - \frac{1}{(\ln \tau_c - a_B)} \right] \tag{65}$$

13.2 Résultats

Les résultats doivent être déterminés à partir des calculs de 12.4 et 12.5 et notés comme suit.

a) Si les trois critères d'essai (voir 13.1) sont satisfaits, le résultat doit correspondre à la valeur du RTE. Le résultat doit être consigné dans le format
"RTE conformément à la CEI 60216-6 = xxx"

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

Calculate the confidence limits of X_B

$$X_{c(B)} = X_B \pm t_{(N_D)}\ s_D \tag{62}$$

where $t_{(N_D)}$ is the value of t in Table C.2 for N_D degrees of freedom.

The confidence limits of RTE are

$$\vartheta_{c(B)} = \frac{1}{X_B \pm t_{(N_D)}\ s_D} - \Theta_0 \tag{63}$$

Normally, the lower confidence limit of RTE, ϑ_{lc} is required, corresponding to the upper confidence limit of X_B.

The lower confidence interval Δ_R shall be calculated by equation (64)

$$\Delta_R = \vartheta_{RTE} - \vartheta_{lc} \tag{64}$$

12.5 Extrapolation

Calculate the extrapolation as the ratio $\frac{\tau_c}{\tau_k}$.

13 Results and report

13.1 Results of statistical and numerical tests

The following criteria apply.

a) Linearity of thermal endurance relationship (see 6.3.2 and 6.3.3 of IEC 60216-3). Both control and candidate data shall satisfy the requirements of IEC 60216-3.

b) Extrapolation to the correlation time (see 12.5). The extrapolation, expressed as the ratio of correlation time to greatest ageing time, shall be less than 4.

c) Lower confidence interval of RTE (see 12.4). The value of Δ_R shall be less than the halving interval ($HIC_{B(c)}$) of the candidate material at a time equal to the correlation time (see 7.1 of IEC 60216-3).

$$HIC_{B(c)} = b_B \left[\frac{1}{(\ln(\tau_c / 2) - a_B)} - \frac{1}{(\ln \tau_c - a_B)} \right] \tag{65}$$

13.2 Result

The result shall be determined from the calculations of 12.4 and 12.5 and expressed as follows.

a) If all three test criteria (see 13.1) are satisfied, the result shall be the value of RTE. The result shall be reported in the format
"RTE according to IEC 60216-6 = xxx"

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

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

b) Si l'un des critères d'essai n'est pas satisfait, le résultat doit être la limite inférieure du niveau de confiance 95 % du RTE. Le résultat doit être consigné dans le format "RTE conformément à la CEI 60216-6 = xxx"

c) Si deux des critères ou plus ne sont pas satisfaits, un résultat conforme aux exigences de la CEI 60216-6 ne peut pas être consigné. Le résultat peut être consigné dans le format "RTE = xxx. (Résultat non validé par l'analyse statistique)"

13.3 Rapport

Le rapport doit être constitué de ce qui suit:

a) le résultat;

b) l'identification du matériau de contrôle, son endurance ATE et les bases de l'ATE;

c) l'essai de diagnostic utilisé et la fin de vie;

d) les rapports d'endurance thermique conformément à la CEI 60216-1 pour les matériaux de contrôle et candidat;

e) pour un résultat de la catégorie 13.2 c) ci-dessus, les détails de l'échec de la validation statistique.

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

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

b) If one of the test criteria is not satisfied, the result shall be the lower 95 % confidence limit of RTE. The result shall be reported in the format
"RTE according to IEC 60216-6 = xxx"

c) If two or more of the criteria are not satisfied, a result in accordance with the requirements of IEC 60216-6 cannot be reported. The result may be reported in the format
"RTE = xxx. (Result not validated by the statistical analysis)"

13.3 Report

The report shall comprise the following:

a) the result;

b) the identification of the control material, its ATE and the basis of the ATE;

c) the diagnostic test employed and the end-point;

d) the thermal endurance reports according to IEC 60216-1 for the control and candidate materials;

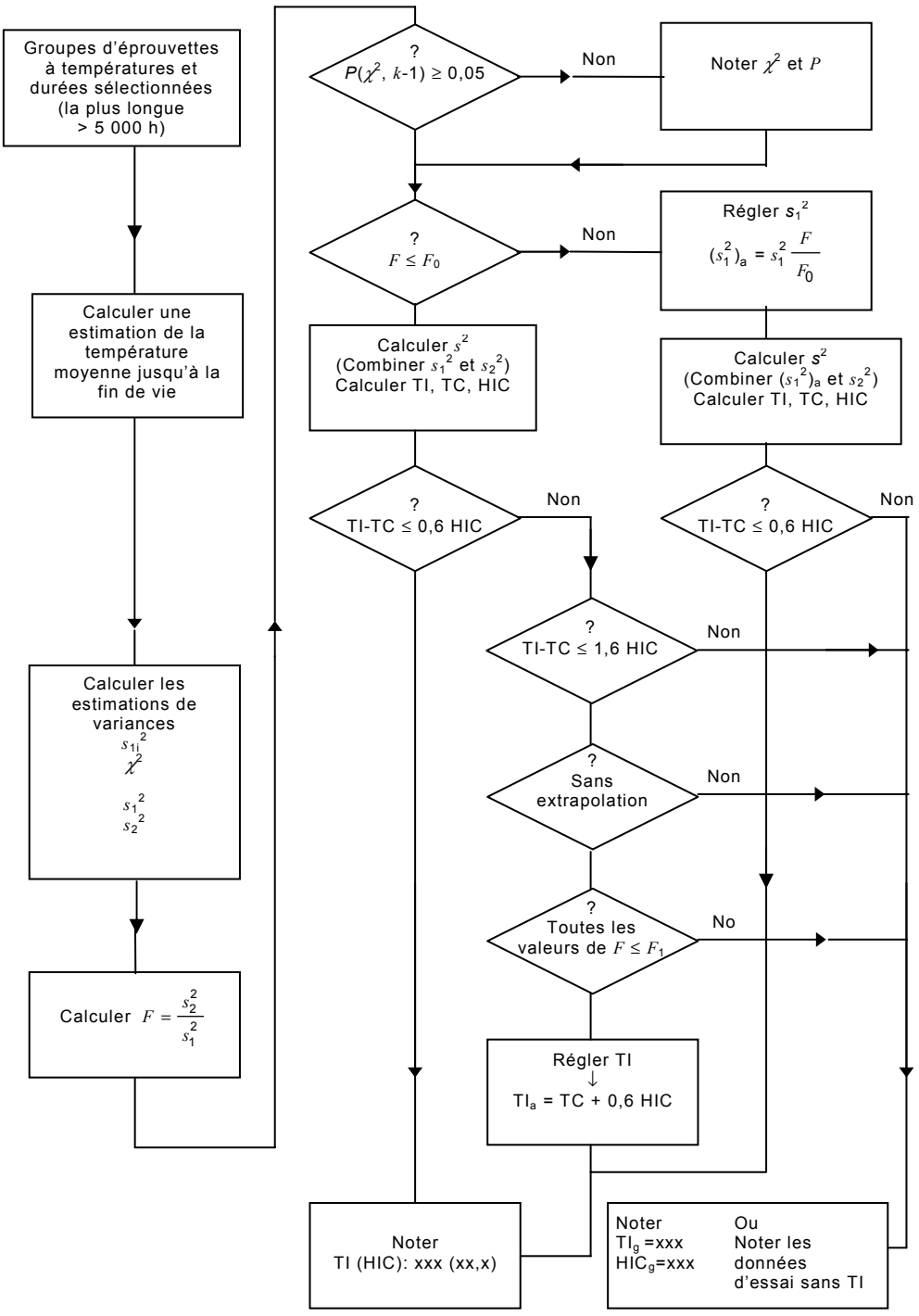
e) for a result in category 13.2 c) above, the details of the failure of statistical validation.

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
(normative)

Organigramme de décision

Si la durée jusqu'en fin de vie utilisée pour calculer les indices d'endurance thermique est autre que 20 000 h (voir 3.1.1), la valeur de 5 000 h des Annexes A et B doit être remplacée par un quart de la durée utilisée.



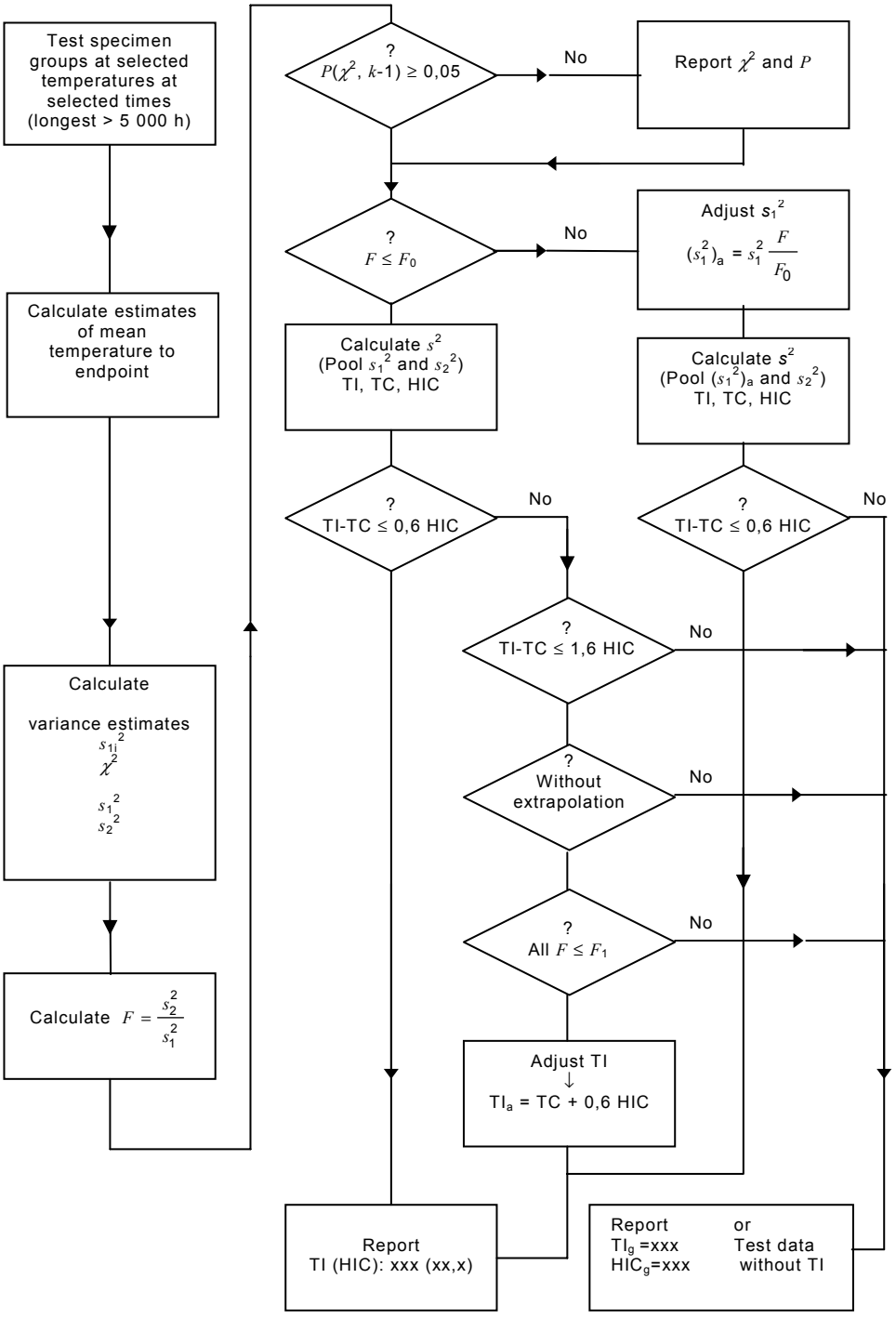
--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---

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
(normative)

Decision flow chart

If the time to end-point used to calculate the thermal endurance indices is other than 20 000 h (see 3.1.1), the value of 5 000 h in Annexes A and B shall be replaced by one quarter of the time used.



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
(normative)

Tableau de décision

Tableau B.1 − Tableau de décision

Etape	Essai (?) ou action	Référence	Action si NON dans essai
1	Groupes d'éprouvettes à températures choisies pour durées choisies (la plus longue > 5 000 h)	5.2	
2	Calculer une estimation de la température moyenne jusqu'en fin de vie	6.4.1	
3	Calculer les estimations de variances s_{1i}^2 Calculer χ^2 Calculer s_1^2 Calculer s_2^2	6.3, 6.4.1 Equation 18 6.5 6.4.2 6.4.3	
4	Calculer F	6.5.2	
5	? $P(\chi^2, k\text{-}1) \geq 0{,}05$	6.5	Consigner χ^2 et P: Aller à l'étape 6
6	? $F \leq F_0$	6.5.2	Aller à l'étape 14
7	Calculer s^2 (Combiner s_1^2 et s_2^2) Calculer TI, TC, HIC	6.5.2 a)	
8	? TI – TC ≤ 0,6 HIC	7.2.2	Aller à l'étape 10
9	Noter TI (HIC): … (..)	7.2.2	
10	? TI – TC ≤ 1,6 HIC	7.2.2	Aller à l'étape 18
11	? Les données ont-elles été obtenues sans extrapolation	6.3.4	Aller à l'étape 18
12	? Est-ce que toutes les valeurs de $F \leq F_1$	6.3.3	Aller à l'étape 18
13	Noter TI_a = TC+0,6 HIC comme TI (HIC): … (..)	7.2.2	
14	Régler s_1^2: $(s_1^2)_a = s_1^2 \frac{F}{F_0}$	6.5.2	
15	Calculer s^2: (Combiner $(s_1^2)_a$ et s_2^2) Calculer TI, TC_a, HIC	6.5.2	
16	? TI – TCI_a ≤ 0,6 HIC	7.2.2	Aller à l'étape 18
17	Consigner TI (HIC): … (..)	7.2.2	
18	Consigner TI_g = …, HIC_g = …, ou données d'essai sans TI	7.2.2	

Si la durée jusqu'en fin de vie utilisée pour calculer les indices d'endurance thermique est autre que 20 000 h (voir 3.1.1), la valeur de 5 000 h des Annexes A et B doit être remplacée par un quart de la durée utilisée.

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---
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
(normative)

Decision table

Table B.1 − Decision table

Step	Test (?) or action	Reference	Action if NO in test
1	Test specimen groups at selected temperatures for selected times (longest > 5 000 h)	5.2	
2	Calculate estimates of mean temperature to endpoint	6.4.1	
3	Calculate estimates of variances s_{1i}^2 Calculate χ^2 Calculate s_1^2 Calculate s_2^2	6.3, 6.4.1 Equation 18 6.5.1 6.4.2 6.4.3	
4	Calculate F	6.5.2	
5	? $P(\chi^2, k\text{-}1) \geq 0{,}05$	6.5.1	Report χ^2 and P: Go to step 6
6	? $F \leq F_0$	6.5.2	Go to step 14
7	Calculate s^2 (Pool s_1^2 and s_2^2) Calculate TI, TC, HIC	6.5.2a)	
8	? TI – TC ≤ 0,6 HIC	7.2.2	Go to step 10
9	Report TI (HIC): ... (..)	7.2.2	
10	? TI – TC ≤ 1,6 HIC	7.2.2	Go to step 18
11	? Were data processed without extrapolation	6.3.4	Go to step 18
12	? Were all values of $F \leq F_1$	6.3.3	Go to step 18
13	Report TI_a = TC+0,6 HIC as TI (HIC): ... (..)	7.2.2	
14	Adjust s_1^2: $(s_1^2)_a = s_1^2 \frac{F}{F_0}$	6.5.2	
15	Calculate s^2: (Pool $(s_1^2)_a$ and s_2^2) Calculate TI, TC_a, HIC	6.5.2	
16	? TI – TC_a ≤ 0,6 HIC	7.2.2	Go to step 18
17	Report TI (HIC): ... (..)	7.2.2	
18	Report TI_g = ..., HIC_g = ..., or test data without TI	7.2.2	

If the time to end-point used to calculate the thermal endurance indices is other than 20 000 h (see 3.1.1), the value of 5 000 h in Annexes A and B shall be replaced by one quarter of the time used.

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)

Tableaux statistiques

Le Tableau C.1 donne les valeurs de χ^2 pour des niveaux de confiance (P) 0,05, 0,01 et 0,005.

Tableau C.1 – Fonction χ^2

Degrés de liberté	P=0,05	P=0,01	P=0,005
1	3,8	6,6	7,9
2	6,0	9,2	10,6
3	7,8	11,3	12,8
4	9,5	13,3	14,9
5	11,1	15,1	16,7
6	12,6	16,8	18,5

Le Tableau C.2 donne les valeurs t de Student aux niveaux de confiance (p) 0,05 et 0,005.

Les colonnes du Tableau représentent le nombre de degrés de liberté (f), et les lignes le niveau de confiance (P).

Tableau C.2 – Fonction t

	10	11	12	13	14	15	16	17	18
P = 0,05	1,812	1,796	1,782	1,771	1,761	1,753	1,746	1,740	1,734
P = 0,005	3,169	3,106	3,055	3,012	2,977	2,947	2,921	2,898	2,878

	19	20	25	30	40	50	100	500
P = 0,05	1,729	1,725	1,708	1,697	1,684	1,676	1,660	1,648
P = 0,005	2,861	2,845	2,787	2,750	2,704	2,678	2,626	2,586

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)

Statistical tables

Table C.1 presents the values of χ^2 for significance levels (P) of 0,05, 0,01 and 0,005.

Table C.1 – χ^2-function

Degrees of freedom	P=0,05	P=0,01	P=0,005
1	3,8	6,6	7,9
2	6,0	9,2	10,6
3	7,8	11,3	12,8
4	9,5	13,3	14,9
5	11,1	15,1	16,7
6	12,6	16,8	18,5

Table C.2 gives the values of Student's t for significance levels (p) of 0,05 and 0,005.

The columns of the table represent the number (f) of degrees of freedom and the rows the significance level (P).

Table C.2– t-function

	10	11	12	13	14	15	16	17	18
P = 0,05	1,812	1,796	1,782	1,771	1,761	1,753	1,746	1,740	1,734
P = 0,005	3,169	3,106	3,055	3,012	2,977	2,947	2,921	2,898	2,878

	19	20	25	30	40	50	100	500
P = 0,05	1,729	1,725	1,708	1,697	1,684	1,676	1,660	1,648
P = 0,005	2,861	2,845	2,787	2,750	2,704	2,678	2,626	2,586

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

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

Le Tableau C.3 donne les valeurs de F au niveau de confiance 0,05.

Les colonnes des Tableaux C.3 et C.4 représentent le nombre de degrés de liberté du numérateur (f_n), et les lignes le nombre de degrés de liberté du dénominateur (f_d).

Tableau C.3 – Fonction F, P = 0,05

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	4,965	4,103	3,708	3,478	3,326	3,217	3,135	3,072	3,02
11	4,844	3,982	3,587	3,357	3,204	3,095	3,012	2,948	2,896
12	4,747	3,885	3,49	3,259	3,106	2,996	2,913	2,849	2,796
13	4,667	3,806	3,411	3,179	3,025	2,915	2,832	2,767	2,714
14	4,6	3,739	3,344	3,112	2,958	2,848	2,764	2,699	2,646
15	4,543	3,682	3,287	3,056	2,901	2,79	2,707	2,641	2,588
16	4,494	3,634	3,239	3,007	2,852	2,741	2,657	2,591	2,538
17	4,451	3,592	3,197	2,965	2,81	2,699	2,614	2,548	2,494
18	4,414	3,555	3,16	2,928	2,773	2,661	2,577	2,51	2,456
19	4,381	3,522	3,127	2,895	2,74	2,628	2,544	2,477	2,423
20	4,351	3,493	3,098	2,866	2,711	2,599	2,514	2,447	2,393
25	4,242	3,385	2,991	2,759	2,603	2,49	2,405	2,337	2,282
30	4,171	3,316	2,922	2,69	2,534	2,421	2,334	2,266	2,211
40	4,085	3,232	2,839	2,606	2,449	2,336	2,249	2,18	2,124
50	4,034	3,183	2,79	2,557	2,4	2,286	2,199	2,13	2,073
100	3,936	3,087	2,696	2,463	2,305	2,191	2,103	2,032	1,975
500	3,86	3,014	2,623	2,39	2,232	2,117	2,028	1,957	1,899

	10	11	12	13	14	15	16	17	18
10	2,978	2,943	2,913	2,887	2,865	2,845	2,828	2,812	2,798
11	2,854	2,818	2,788	2,761	2,739	2,719	2,701	2,685	2,671
12	2,753	2,717	2,687	2,66	2,637	2,617	2,599	2,583	2,568
13	2,671	2,635	2,604	2,577	2,554	2,533	2,515	2,499	2,484
14	2,602	2,565	2,534	2,507	2,484	2,463	2,445	2,428	2,413
15	2,544	2,507	2,475	2,448	2,424	2,403	2,385	2,368	2,353
16	2,494	2,456	2,425	2,397	2,373	2,352	2,333	2,317	2,302
17	2,45	2,413	2,381	2,353	2,329	2,308	2,289	2,272	2,257
18	2,412	2,374	2,342	2,314	2,29	2,269	2,25	2,233	2,217
19	2,378	2,34	2,308	2,28	2,256	2,234	2,215	2,198	2,182
20	2,348	2,31	2,278	2,25	2,225	2,203	2,184	2,167	2,151
25	2,236	2,198	2,165	2,136	2,111	2,089	2,069	2,051	2,035
30	2,165	2,126	2,092	2,063	2,037	2,015	1,995	1,976	1,96
40	2,077	2,038	2,003	1,974	1,948	1,924	1,904	1,885	1,868
50	2,026	1,986	1,952	1,921	1,895	1,871	1,85	1,831	1,814
100	1,927	1,886	1,85	1,819	1,792	1,768	1,746	1,726	1,708
500	1,85	1,808	1,772	1,74	1,712	1,686	1,664	1,643	1,625

	19	20	25	30	40	50	100	500
10	2,785	2,774	2,73	2,7	2,661	2,637	2,588	2,548
11	2,658	2,646	2,601	2,57	2,531	2,507	2,457	2,415
12	2,555	2,544	2,498	2,466	2,426	2,401	2,35	2,307
13	2,471	2,459	2,412	2,38	2,339	2,314	2,261	2,218
14	2,4	2,388	2,341	2,308	2,266	2,241	2,187	2,142
15	2,34	2,328	2,28	2,247	2,204	2,178	2,123	2,078
16	2,288	2,276	2,227	2,194	2,151	2,124	2,068	2,022
17	2,243	2,23	2,181	2,148	2,104	2,077	2,02	1,973
18	2,203	2,191	2,141	2,107	2,063	2,035	1,978	1,929
19	2,168	2,155	2,106	2,071	2,026	1,999	1,94	1,891
20	2,137	2,124	2,074	2,039	1,994	1,966	1,907	1,856
25	2,021	2,007	1,955	1,919	1,872	1,842	1,779	1,725
30	1,945	1,932	1,878	1,841	1,792	1,761	1,695	1,637
40	1,853	1,839	1,783	1,744	1,693	1,66	1,589	1,526
50	1,798	1,784	1,727	1,687	1,634	1,599	1,525	1,457
100	1,691	1,676	1,616	1,573	1,515	1,477	1,392	1,308
500	1,607	1,592	1,528	1,482	1,419	1,376	1,275	1,159

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

Table C.3 gives the values of F for significance level 0,05.

The columns of Tables C.3 and C.4 represent the number of degrees of freedom of the numerator (f_n) and the rows the number of degrees of freedom of the denominator (f_d).

Table C.3 – F-function, P = 0,05

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	4,965	4,103	3,708	3,478	3,326	3,217	3,135	3,072	3,02
11	4,844	3,982	3,587	3,357	3,204	3,095	3,012	2,948	2,896
12	4,747	3,885	3,49	3,259	3,106	2,996	2,913	2,849	2,796
13	4,667	3,806	3,411	3,179	3,025	2,915	2,832	2,767	2,714
14	4,6	3,739	3,344	3,112	2,958	2,848	2,764	2,699	2,646
15	4,543	3,682	3,287	3,056	2,901	2,79	2,707	2,641	2,588
16	4,494	3,634	3,239	3,007	2,852	2,741	2,657	2,591	2,538
17	4,451	3,592	3,197	2,965	2,81	2,699	2,614	2,548	2,494
18	4,414	3,555	3,16	2,928	2,773	2,661	2,577	2,51	2,456
19	4,381	3,522	3,127	2,895	2,74	2,628	2,544	2,477	2,423
20	4,351	3,493	3,098	2,866	2,711	2,599	2,514	2,447	2,393
25	4,242	3,385	2,991	2,759	2,603	2,49	2,405	2,337	2,282
30	4,171	3,316	2,922	2,69	2,534	2,421	2,334	2,266	2,211
40	4,085	3,232	2,839	2,606	2,449	2,336	2,249	2,18	2,124
50	4,034	3,183	2,79	2,557	2,4	2,286	2,199	2,13	2,073
100	3,936	3,087	2,696	2,463	2,305	2,191	2,103	2,032	1,975
500	3,86	3,014	2,623	2,39	2,232	2,117	2,028	1,957	1,899

	10	11	12	13	14	15	16	17	18
10	2,978	2,943	2,913	2,887	2,865	2,845	2,828	2,812	2,798
11	2,854	2,818	2,788	2,761	2,739	2,719	2,701	2,685	2,671
12	2,753	2,717	2,687	2,66	2,637	2,617	2,599	2,583	2,568
13	2,671	2,635	2,604	2,577	2,554	2,533	2,515	2,499	2,484
14	2,602	2,565	2,534	2,507	2,484	2,463	2,445	2,428	2,413
15	2,544	2,507	2,475	2,448	2,424	2,403	2,385	2,368	2,353
16	2,494	2,456	2,425	2,397	2,373	2,352	2,333	2,317	2,302
17	2,45	2,413	2,381	2,353	2,329	2,308	2,289	2,272	2,257
18	2,412	2,374	2,342	2,314	2,29	2,269	2,25	2,233	2,217
19	2,378	2,34	2,308	2,28	2,256	2,234	2,215	2,198	2,182
20	2,348	2,31	2,278	2,25	2,225	2,203	2,184	2,167	2,151
25	2,236	2,198	2,165	2,136	2,111	2,089	2,069	2,051	2,035
30	2,165	2,126	2,092	2,063	2,037	2,015	1,995	1,976	1,96
40	2,077	2,038	2,003	1,974	1,948	1,924	1,904	1,885	1,868
50	2,026	1,986	1,952	1,921	1,895	1,871	1,85	1,831	1,814
100	1,927	1,886	1,85	1,819	1,792	1,768	1,746	1,726	1,708
500	1,85	1,808	1,772	1,74	1,712	1,686	1,664	1,643	1,625

	19	20	25	30	40	50	100	500
10	2,785	2,774	2,73	2,7	2,661	2,637	2,588	2,548
11	2,658	2,646	2,601	2,57	2,531	2,507	2,457	2,415
12	2,555	2,544	2,498	2,466	2,426	2,401	2,35	2,307
13	2,471	2,459	2,412	2,38	2,339	2,314	2,261	2,218
14	2,4	2,388	2,341	2,308	2,266	2,241	2,187	2,142
15	2,34	2,328	2,28	2,247	2,204	2,178	2,123	2,078
16	2,288	2,276	2,227	2,194	2,151	2,124	2,068	2,022
17	2,243	2,23	2,181	2,148	2,104	2,077	2,02	1,973
18	2,203	2,191	2,141	2,107	2,063	2,035	1,978	1,929
19	2,168	2,155	2,106	2,071	2,026	1,999	1,94	1,891
20	2,137	2,124	2,074	2,039	1,994	1,966	1,907	1,856
25	2,021	2,007	1,955	1,919	1,872	1,842	1,779	1,725
30	1,945	1,932	1,878	1,841	1,792	1,761	1,695	1,637
40	1,853	1,839	1,783	1,744	1,693	1,66	1,589	1,526
50	1,798	1,784	1,727	1,687	1,634	1,599	1,525	1,457
100	1,691	1,676	1,616	1,573	1,515	1,477	1,392	1,308
500	1,607	1,592	1,528	1,482	1,419	1,376	1,275	1,159

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

Le Tableau C.4 donne les valeurs de F au niveau de confiance 0,005.

Les colonnes des Tableaux C.3 et C.4 représentent le nombre de degrés de liberté du numérateur (f_n), et les lignes le nombre de degrés de liberté du dénominateur (f_d).

Tableau C.4 – Fonction F, P = 0,005

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	12,826	9,427	8,081	7,343	6,872	6,545	6,302	6,116	5,968
11	12,226	8,912	7,6	6,881	6,422	6,102	5,865	5,682	5,537
12	11,754	8,51	7,226	6,521	6,071	5,757	5,525	5,345	5,202
13	11,374	8,186	6,926	6,233	5,791	5,482	5,253	5,076	4,935
14	11,06	7,922	6,68	5,998	5,562	5,257	5,031	4,857	4,717
15	10,798	7,701	6,476	5,803	5,372	5,071	4,847	4,674	4,536
16	10,575	7,514	6,303	5,638	5,212	4,913	4,692	4,521	4,384
17	10,384	7,354	6,156	5,497	5,075	4,779	4,559	4,389	4,254
18	10,218	7,215	6,028	5,375	4,956	4,663	4,445	4,276	4,141
19	10,073	7,093	5,916	5,268	4,853	4,561	4,345	4,177	4,043
20	9,944	6,986	5,818	5,174	4,762	4,472	4,257	4,09	3,956
25	9,475	6,598	5,462	4,835	4,433	4,15	3,939	3,776	3,645
30	9,18	6,355	5,239	4,623	4,228	3,949	3,742	3,58	3,45
40	8,828	6,066	4,976	4,374	3,986	3,713	3,509	3,35	3,222
50	8,626	5,902	4,826	4,232	3,849	3,579	3,376	3,219	3,092
100	8,241	5,589	4,542	3,963	3,589	3,325	3,127	2,972	2,847
500	7,95	5,355	4,33	3,763	3,396	3,137	2,941	2,789	2,665

	10	11	12	13	14	15	16	17	18
10	5,847	5,746	5,661	5,589	5,526	5,471	5,422	5,379	5,34
11	5,418	5,32	5,236	5,165	5,103	5,049	5,001	4,959	4,921
12	5,085	4,988	4,906	4,836	4,775	4,721	4,674	4,632	4,595
13	4,82	4,724	4,643	4,573	4,513	4,46	4,413	4,372	4,334
14	4,603	4,508	4,428	4,359	4,299	4,247	4,2	4,159	4,122
15	4,424	4,329	4,25	4,181	4,122	4,07	4,024	3,983	3,946
16	4,272	4,179	4,099	4,031	3,972	3,92	3,875	3,834	3,797
17	4,142	4,05	3,971	3,903	3,844	3,793	3,747	3,707	3,67
18	4,03	3,938	3,86	3,793	3,734	3,683	3,637	3,597	3,56
19	3,933	3,841	3,763	3,696	3,638	3,587	3,541	3,501	3,465
20	3,847	3,756	3,678	3,611	3,553	3,502	3,457	3,416	3,38
25	3,537	3,447	3,37	3,304	3,247	3,196	3,151	3,111	3,075
30	3,344	3,255	3,179	3,113	3,056	3,006	2,961	2,921	2,885
40	3,117	3,028	2,953	2,888	2,831	2,781	2,737	2,697	2,661
50	2,988	2,9	2,825	2,76	2,703	2,653	2,609	2,569	2,533
100	2,744	2,657	2,583	2,518	2,461	2,411	2,367	2,326	2,29
500	2,562	2,476	2,402	2,337	2,281	2,23	2,185	2,145	2,108

	19	20	25	30	40	50	100	500
10	5,305	5,274	5,153	5,071	4,966	4,902	4,772	4,666
11	4,886	4,855	4,736	4,654	4,551	4,488	4,359	4,252
12	4,561	4,53	4,412	4,331	4,228	4,165	4,037	3,931
13	4,301	4,27	4,153	4,073	3,97	3,908	3,78	3,674
14	4,089	4,059	3,942	3,862	3,76	3,698	3,569	3,463
15	3,913	3,883	3,766	3,687	3,585	3,523	3,394	3,287
16	3,764	3,734	3,618	3,539	3,437	3,375	3,246	3,139
17	3,637	3,607	3,492	3,412	3,311	3,248	3,119	3,012
18	3,527	3,498	3,382	3,303	3,201	3,139	3,009	2,901
19	3,432	3,402	3,287	3,208	3,106	3,043	2,913	2,804
20	3,347	3,318	3,203	3,123	3,022	2,959	2,828	2,719
25	3,043	3,013	2,898	2,819	2,716	2,652	2,519	2,406
30	2,853	2,823	2,708	2,628	2,524	2,459	2,323	2,207
40	2,628	2,598	2,482	2,401	2,296	2,23	2,088	1,965
50	2,5	2,47	2,353	2,272	2,164	2,097	1,951	1,821
100	2,257	2,227	2,108	2,024	1,912	1,84	1,681	1,529
500	2,075	2,044	1,922	1,835	1,717	1,64	1,46	1,26

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

Table C.4 gives the values of F for significance level 0,005

The columns of Tables C.3 and C.4 represent the number of degrees of freedom of the numerator (f_n) and the rows the number of degrees of freedom of the denominator (f_d).

Table C.4 – F-function, P = 0,005

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	12,826	9,427	8,081	7,343	6,872	6,545	6,302	6,116	5,968
11	12,226	8,912	7,6	6,881	6,422	6,102	5,865	5,682	5,537
12	11,754	8,51	7,226	6,521	6,071	5,757	5,525	5,345	5,202
13	11,374	8,186	6,926	6,233	5,791	5,482	5,253	5,076	4,935
14	11,06	7,922	6,68	5,998	5,562	5,257	5,031	4,857	4,717
15	10,798	7,701	6,476	5,803	5,372	5,071	4,847	4,674	4,536
16	10,575	7,514	6,303	5,638	5,212	4,913	4,692	4,521	4,384
17	10,384	7,354	6,156	5,497	5,075	4,779	4,559	4,389	4,254
18	10,218	7,215	6,028	5,375	4,956	4,663	4,445	4,276	4,141
19	10,073	7,093	5,916	5,268	4,853	4,561	4,345	4,177	4,043
20	9,944	6,986	5,818	5,174	4,762	4,472	4,257	4,09	3,956
25	9,475	6,598	5,462	4,835	4,433	4,15	3,939	3,776	3,645
30	9,18	6,355	5,239	4,623	4,228	3,949	3,742	3,58	3,45
40	8,828	6,066	4,976	4,374	3,986	3,713	3,509	3,35	3,222
50	8,626	5,902	4,826	4,232	3,849	3,579	3,376	3,219	3,092
100	8,241	5,589	4,542	3,963	3,589	3,325	3,127	2,972	2,847
500	7,95	5,355	4,33	3,763	3,396	3,137	2,941	2,789	2,665

	10	11	12	13	14	15	16	17	18
10	5,847	5,746	5,661	5,589	5,526	5,471	5,422	5,379	5,34
11	5,418	5,32	5,236	5,165	5,103	5,049	5,001	4,959	4,921
12	5,085	4,988	4,906	4,836	4,775	4,721	4,674	4,632	4,595
13	4,82	4,724	4,643	4,573	4,513	4,46	4,413	4,372	4,334
14	4,603	4,508	4,428	4,359	4,299	4,247	4,2	4,159	4,122
15	4,424	4,329	4,25	4,181	4,122	4,07	4,024	3,983	3,946
16	4,272	4,179	4,099	4,031	3,972	3,92	3,875	3,834	3,797
17	4,142	4,05	3,971	3,903	3,844	3,793	3,747	3,707	3,67
18	4,03	3,938	3,86	3,793	3,734	3,683	3,637	3,597	3,56
19	3,933	3,841	3,763	3,696	3,638	3,587	3,541	3,501	3,465
20	3,847	3,756	3,678	3,611	3,553	3,502	3,457	3,416	3,38
25	3,537	3,447	3,37	3,304	3,247	3,196	3,151	3,111	3,075
30	3,344	3,255	3,179	3,113	3,056	3,006	2,961	2,921	2,885
40	3,117	3,028	2,953	2,888	2,831	2,781	2,737	2,697	2,661
50	2,988	2,9	2,825	2,76	2,703	2,653	2,609	2,569	2,533
100	2,744	2,657	2,583	2,518	2,461	2,411	2,367	2,326	2,29
500	2,562	2,476	2,402	2,337	2,281	2,23	2,185	2,145	2,108

	19	20	25	30	40	50	100	500
10	5,305	5,274	5,153	5,071	4,966	4,902	4,772	4,666
11	4,886	4,855	4,736	4,654	4,551	4,488	4,359	4,252
12	4,561	4,53	4,412	4,331	4,228	4,165	4,037	3,931
13	4,301	4,27	4,153	4,073	3,97	3,908	3,78	3,674
14	4,089	4,059	3,942	3,862	3,76	3,698	3,569	3,463
15	3,913	3,883	3,766	3,687	3,585	3,523	3,394	3,287
16	3,764	3,734	3,618	3,539	3,437	3,375	3,246	3,139
17	3,637	3,607	3,492	3,412	3,311	3,248	3,119	3,012
18	3,527	3,498	3,382	3,303	3,201	3,139	3,009	2,901
19	3,432	3,402	3,287	3,208	3,106	3,043	2,913	2,804
20	3,347	3,318	3,203	3,123	3,022	2,959	2,828	2,719
25	3,043	3,013	2,898	2,819	2,716	2,652	2,519	2,406
30	2,853	2,823	2,708	2,628	2,524	2,459	2,323	2,207
40	2,628	2,598	2,482	2,401	2,296	2,23	2,088	1,965
50	2,5	2,47	2,353	2,272	2,164	2,097	1,951	1,821
100	2,257	2,227	2,108	2,024	1,912	1,84	1,681	1,529
500	2,075	2,044	1,922	1,835	1,717	1,64	1,46	1,26

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

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

Annexe D
(informative)

Durées et températures de vieillissement suggérées

D.1 Détermination de TI

D.1.1 Temps de corrélation (TI) = 20 000 h

Quand la durée pour le calcul de TI est la durée conventionnelle 20 000 h, (voir 7.1), les quatre durées de vieillissement et les dix températures d'étuve de vieillissement suivantes sont suggérées.

Les températures couvrent une plage de 90 K par intervalles de 10 K, la température la plus basse étant égale à la valeur attendue de TI, arrondie au multiple de 10 le plus proche, Dans le tableau suivant, chaque ✸ représente un groupe d'éprouvettes à charger dans l'étuve concernée.

Température	TI	TI+10	TI+20	TI+30	TI+40	TI+50	TI+60	TI+70	TI+80	TI+90
Durée de vieillissement										
5 040 h	✸	✸	✸	✸	✸	✸	✸			
2 016 h		✸	✸	✸	✸	✸	✸	✸		
1 008 h			✸	✸	✸	✸	✸	✸	✸	
552 h				✸	✸	✸	✸	✸	✸	✸

NOTE 1 Les quatre durées de vieillissement ci-dessus sont suggérées comme multiples pratiques de 24 h (1 jour) ou 168 h (1 semaine), proches des valeurs ≥ 500 h, ≈1 000 h, ≈2 000 et ≥ 5 000 h, couvrant une plage de 1 à 10 en approximativement quatre étapes logarithmiques.

NOTE 2 Ces durées et températures de vieillissement sont censées donner des extensions acceptables de vieillissement, telles qu'une sélection satisfaisante de données pour les analyses de régression (voir 6.1.2 et 6.3.2) puisse être faite si la valeur souhaitée de TI est comprise entre ±10 K de la valeur réelle et si la valeur de HIC est comprise entre 8 K et 13 K. Si les valeurs sont hors de ces plages, il peut être nécessaire d'employer une température additionnelle supérieure. Pour permettre cela, il est recommandé de préparer des éprouvettes additionnelles à celles qui sont indiquées par les chiffres ci-dessus.

Pour illustrer ce propos, voir la Figure E.3 et la Figure E.4 qui montrent les durées et températures de vieillissement en relation avec le graphique d'endurance thermique réelle pour les cas hypothétiques. Dans les données de la Figure E.3, à toutes les durées de vieillissement, un nombre à peu près équivalent de groupes de température se situe au-dessus et en dessous de la «température de fin de vie», c'est-à-dire l'intersection avec la droite de régression. Cela n'est pas vrai pour les données de la Figure E.4, où une extrapolation serait demandée aux durées de 552 h et 1 008 h.

D.1.2 Autres temps de corrélation pour calcul de TI (voir 12.3)

Lorsque le temps de corrélation (durée pour le calcul de TI) est supérieur à 20 000 h, il est conseillé d'augmenter le nombre de durées à 5 et le nombre de températures à 11, pour que la durée de vieillissement la plus longue soit environ égale au quart du temps de corrélation, et pour que la température la plus basse soit égale à la valeur de TI (voir 12.3). Le nombre d'étuves fournissant des échantillons pour chaque durée de vieillissement demeure de sept (voir Figure E.5).

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

Annex D
(informative)

Suggested ageing times and temperatures

D.1 TI determination

D.1.1 Correlation time (TI) = 20 000 h

When the time for TI calculation is the conventional 20 000 h (see 7.1) the following four ageing times and ten ageing oven temperatures are suggested.

The temperatures cover a range of 90 K in intervals of 10 K, the lowest temperature being equal to the expected value of TI, rounded to the nearest multiple of 10. In the following table, each ✷ represents one group of specimens to be loaded into the oven concerned.

Temperature	TI	TI+10	TI+20	TI+30	TI+40	TI+50	TI+60	TI+70	TI+80	TI+90
Ageing time										
5 040 h	✷	✷	✷	✷	✷	✷	✷			
2 016 h		✷	✷	✷	✷	✷	✷	✷		
1 008 h			✷	✷	✷	✷	✷	✷	✷	
552 h				✷	✷	✷	✷	✷	✷	✷

NOTE 1 The above four ageing times are suggested as convenient multiples of 24 h (1 day) or 168 h (1 week), close to the values of ≥500 h, ≈1 000 h, ≈2 000 h and ≥5 000 h, covering a range of 1 to 10 in four approximately equal logarithmic steps.

NOTE 2 These ageing times and temperatures are expected to give acceptable extents of ageing, such that satisfactory selection of data for the regression analyses (see 6.1.2 and 6.3.2) can be made if the expected value of TI is within ±10 K of the actual value and the value of HIC is between 8 K and 13 K. If the values are outside these ranges, it may be necessary to employ an additional higher temperature. In order to allow this, it is recommended to prepare specimens additional to those indicated by the above figures.

For illustration of this, see Figure E.3 and Figure E.4 which show the ageing times and temperatures in relation to the actual thermal endurance graph for hypothetical cases. In the data of Figure E.3, at all ageing times, approximately equal numbers of temperature groups lie above and below the "temperature for end-point", i.e. the intersection with the regression line. This is not true for the data of Figure E.4, where an extrapolation would be required at times of 552 h and 1 008 h.

D.1.2 Other correlation times for TI calculation (see 12.3)

Where the correlation time (time for TI calculation) is greater than 20 000 h, it is advisable to increase the number of times to 5 and of temperatures to 11, making the longest ageing time equal to approximately one quarter of the correlation time, and the lowest temperature equal to the value of TI (see 12.3). The number of ovens providing samples for each ageing time remains at seven (see Figure E.5).

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

D.2 Détermination du RTE

Il est recommandé que le point de départ du tableau ci-dessus soit la plus faible des valeurs TI souhaitées pour les matériaux de contrôle et candidats, arrondie au 10 K le plus proche. Il convient que les températures restantes soient choisies selon D.1.2 ci-dessus.

NOTE On peut raisonnablement s'attendre à ce que ces durées et températures de vieillissement soient acceptables si l'une et l'autre des valeurs réelles de TI sont comprises entre ±10 K des valeurs choisies et si l'une et l'autre des valeurs de HIC sont dans la plage (8 à 13) K.

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

D.2 RTE determination

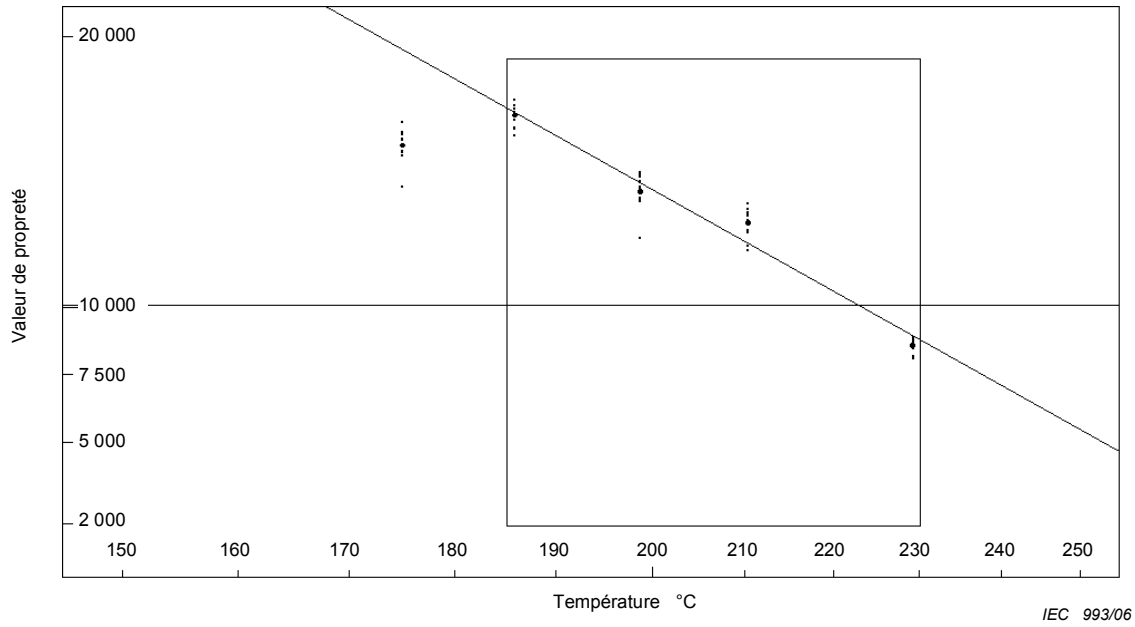
The start point for the above table should be the lower of the expected TI values for the control and candidate materials, rounded to the nearest 10 K. The remaining temperatures should be chosen as in D.1.2 above.

NOTE It may reasonably be expected that these ageing times and temperatures will be acceptable if both actual TI values are within ±10 K of the chosen value and both HIC values are within the range (8 to 13) K.

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

Annexe E
(informative)

Figures



Les données correspondent à une durée de vieillissement de 2 016 h du groupe de données représenté ci-dessous (Figure E.2). Les données sélectionnées pour la régression sont à l'intérieur du rectangle.

Figure E.1 – Graphique de la propriété en fonction de la température avec droite de régression

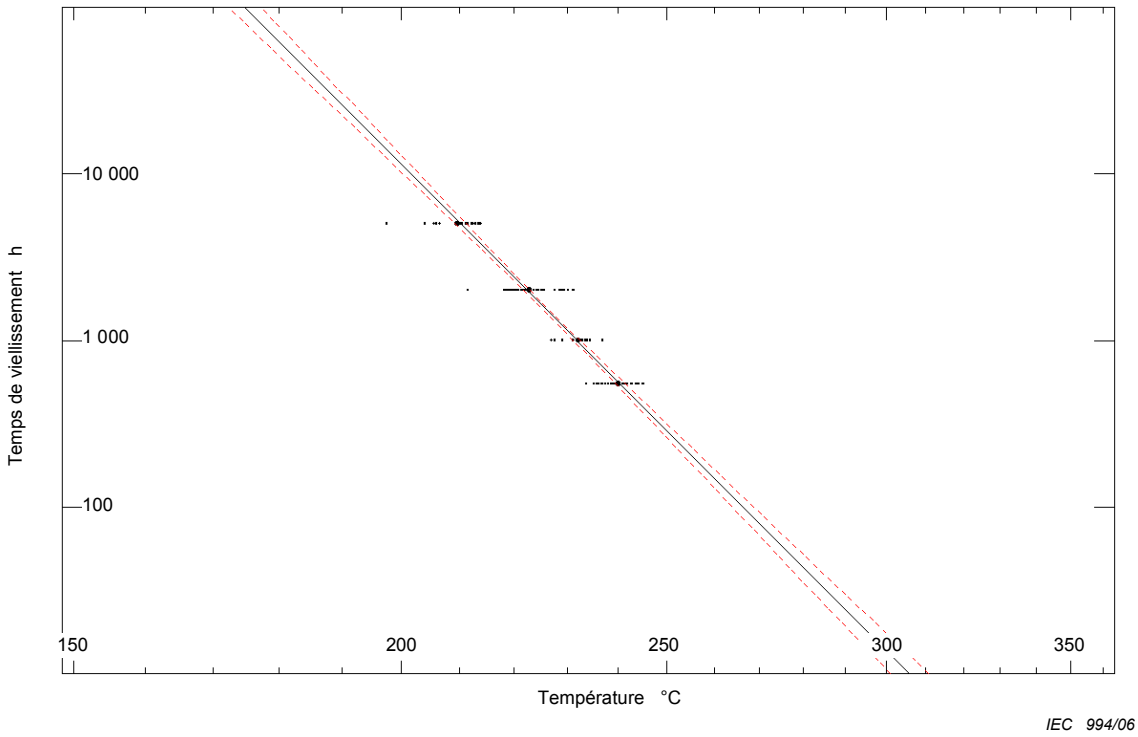
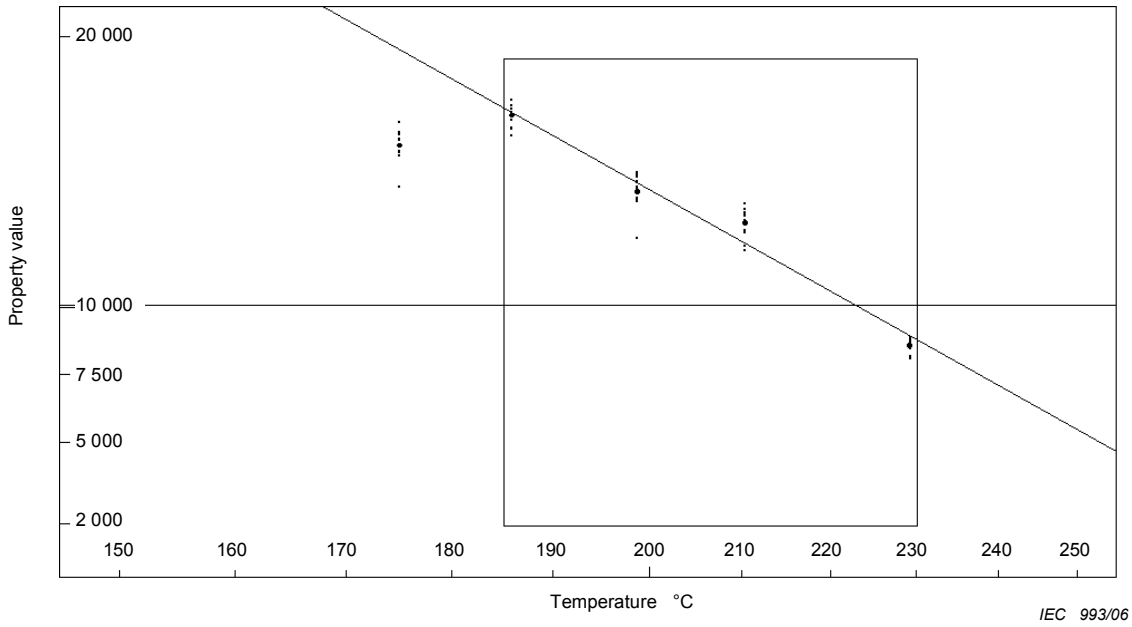


Figure E.2 – Graphique d'endurance thermique

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

Annex E
(informative)

Figures



The data are for ageing time 2 016 h of the data group represented below (Figure E.2). The data selected for regression are in the inner rectangular outline box.

Figure E.1 – Property-temperature graph with regression line

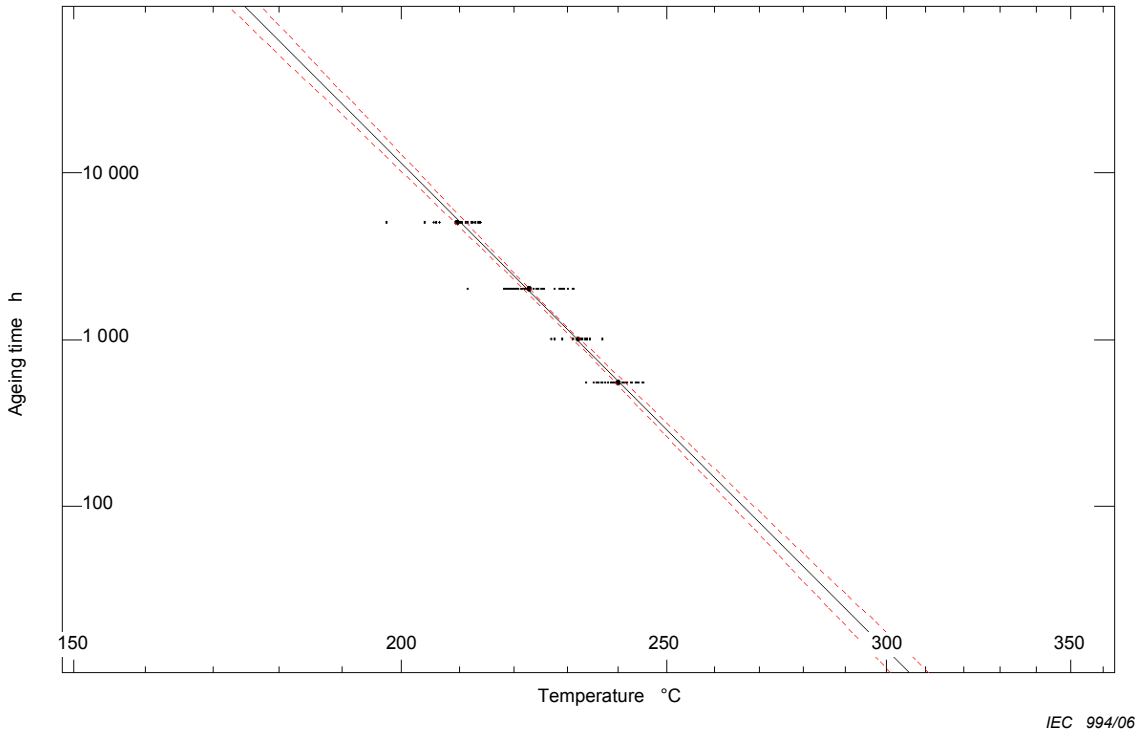


Figure E.2 – Thermal endurance graph

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

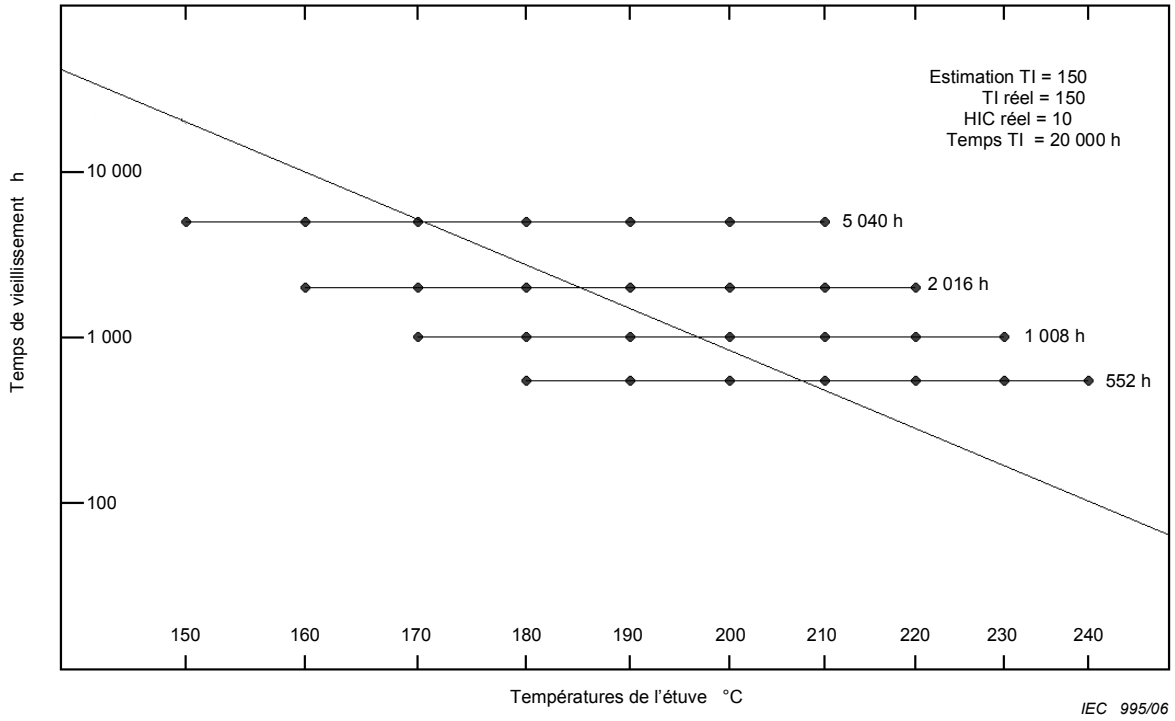


Figure E.3 – Graphique des durées et températures de vieillissement en relation avec

(Valeur de précision attendue pour TI et HIC moyen)

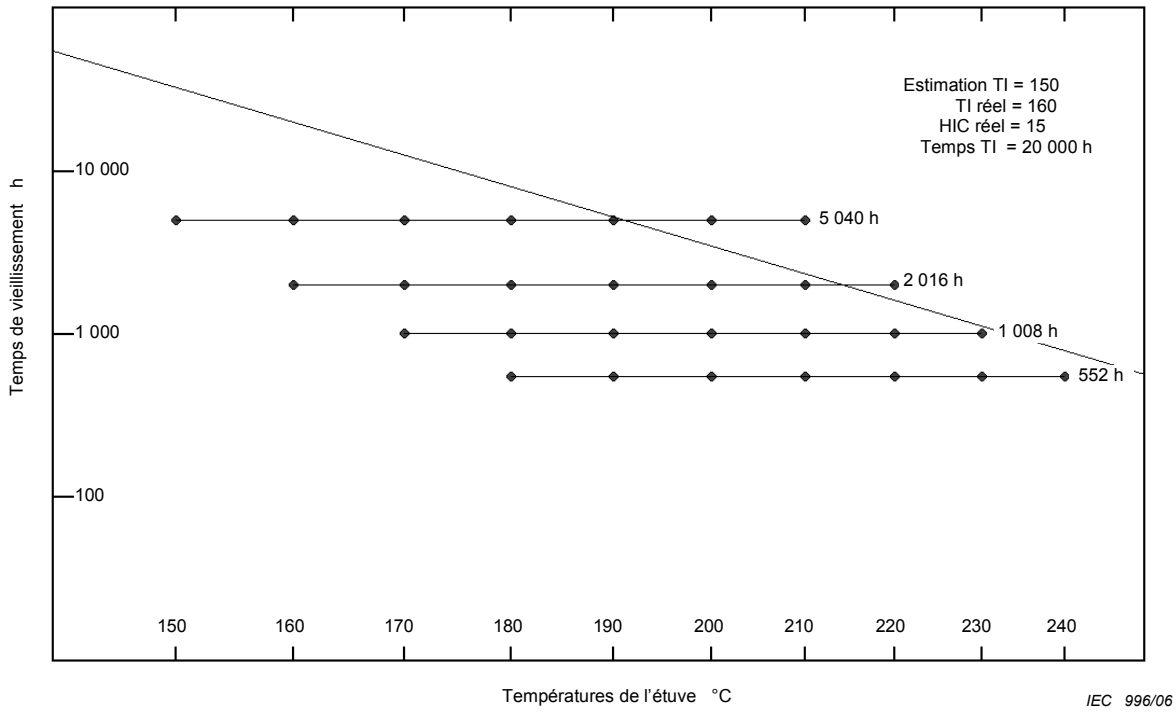
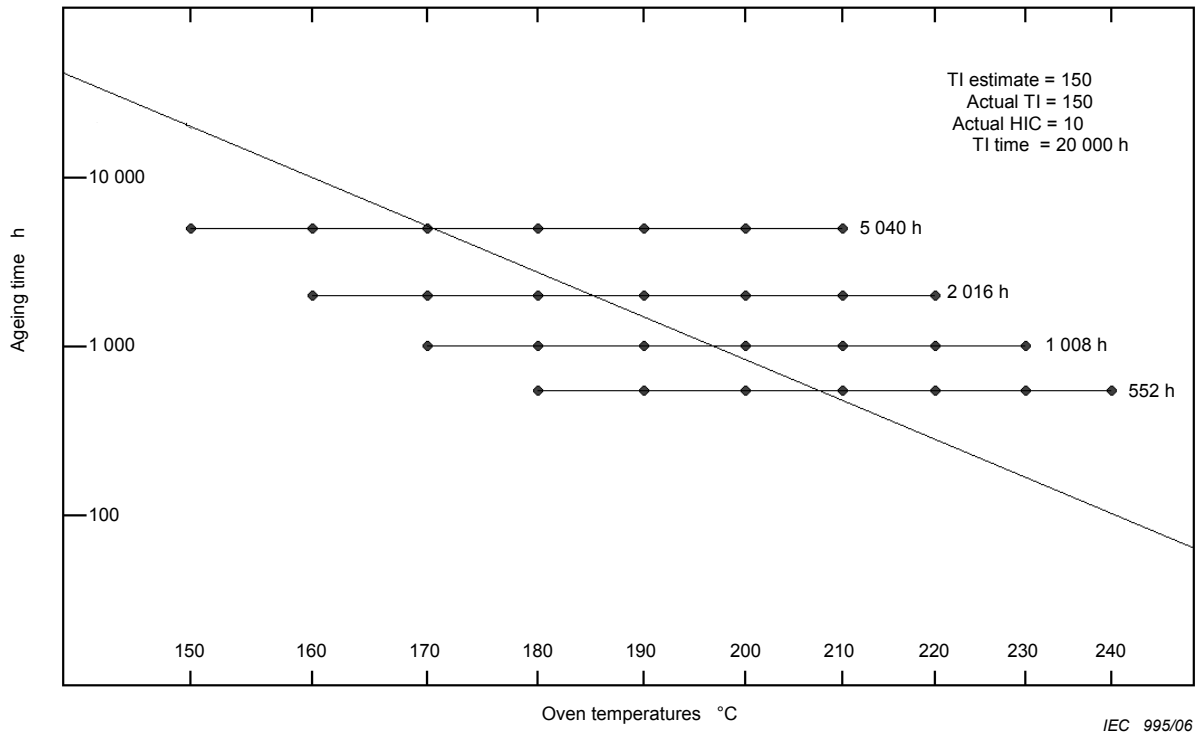


Figure E.4 – Graphique des durées et températures de vieillissement en relation avec l'endurance thermique

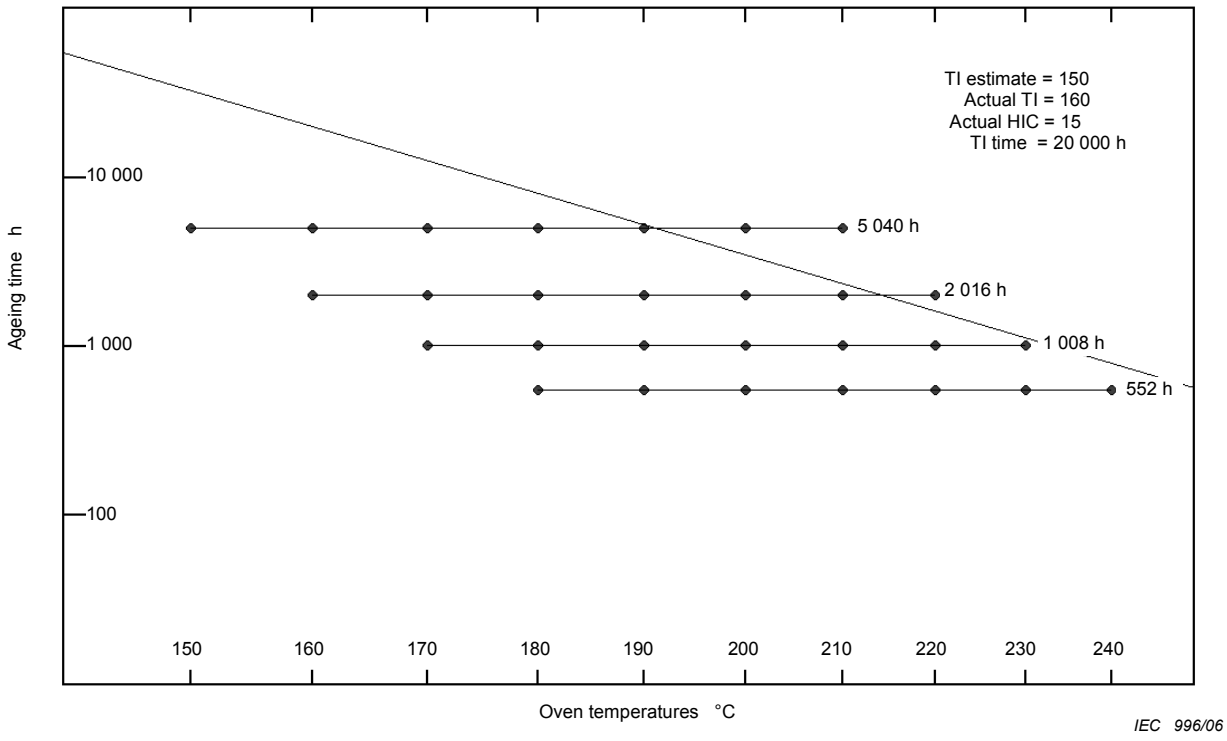
(Faible attente de TI et grande valeur de HIC)
Besoin en températures de vieillissement plus élevées

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



(Accurate expectation value for TI and average HIC)

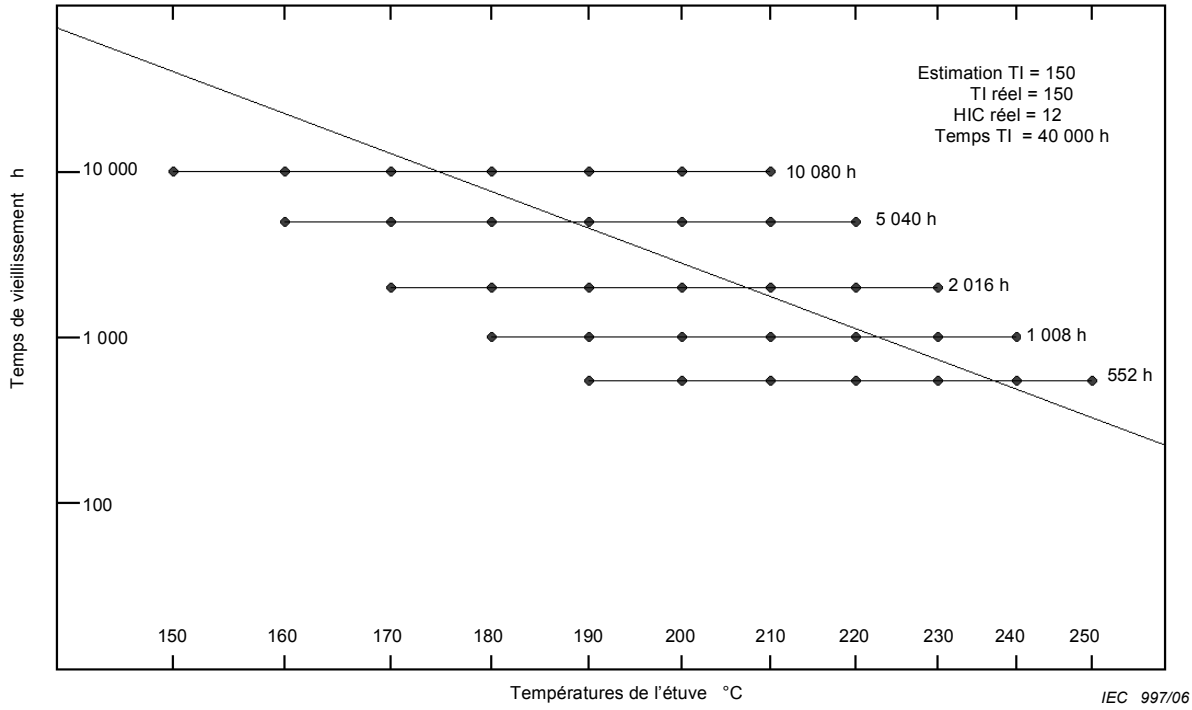
Figure E.3 – Ageing times and temperatures in relation to thermal endurance graph



(Low expectation of TI and large value of HIC)
Higher ageing temperatures needed

Figure E.4 – Ageing times and temperatures in relation to 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

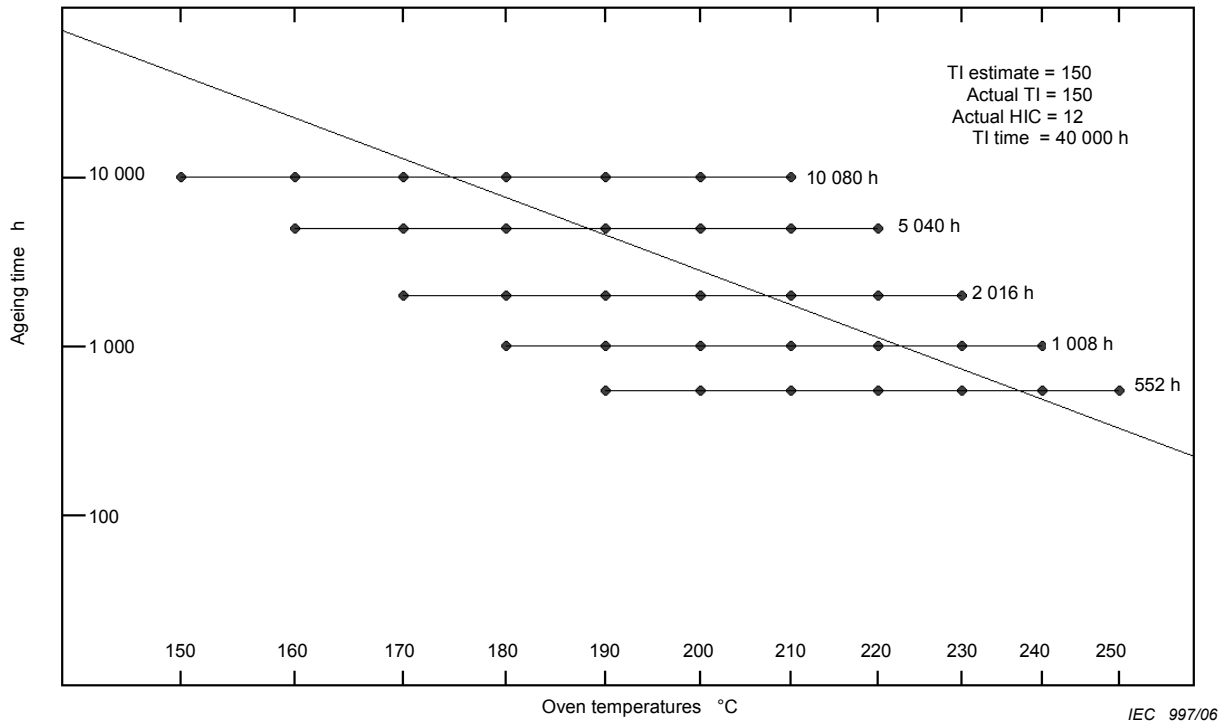


Durée de vieillissement beaucoup plus longue pour temps de corrélation = 40 kh

La durée de vieillissement additionnelle de 10 kh a été choisie pour illustrer un quart de 40 kh.

Figure E.5 – Durées de vieillissement en fonction des températures en relation avec l'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



Extra, longer ageing time for correlation time = 40 kh

The additional ageing time of 10 kh was chosen for illustration as one quarter of 40 kh.

Figure E.5 – Ageing times and temperatures in relation to 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 F
(normative)

Signification statistique de la différence entre deux estimations de régression

Lorsque plusieurs déterminations d'indice d'endurance thermique sont faites (par exemple la détermination peut être faite plusieurs fois sur un matériau de contrôle), l'admissibilité des différences entre deux résultats peut être évaluée en utilisant les équations de 12.4.

NOTE Dans le texte qui suit, les suffixes A et B font référence aux deux ensembles de données sur le même matériau: le premier ensemble de données (A) est traité comme données ATE, le second ensemble (B) est traité comme données de matériau candidat. L'ensemble de données A peut être une valeur pondérée à partir de plusieurs autres valeurs.

- Calculer la valeur de x correspondant à la valeur de TI pour le premier ensemble de données (ATE) (équation 50), la durée de corrélation (équation 51) et la variance de x_A (équation 55).
- Pour ce temps de corrélation, calculer les valeurs correspondantes de x_B (équation 52) et sa variance (équation 56).
- Calculer le nombre de degrés de liberté de la différence (x_B - x_A) (équations 58 à 61).
- Calculer la valeur de t pour cette différence et comparer sa valeur avec celle du Tableau C.2 de l'Annexe C au niveau de confiance 0,05.

$$t_{(N_D)} = \frac{(x_B - x_A)}{s_D}$$

Une valeur supérieure à la valeur donnée dans les tableaux (Tableau C.2) suppose une différence significative entre les résultats. Cela peut impliquer une modification du matériau de contrôle ou des conditions de vieillissement. Il convient d'analyser cela et si nécessaire de le corriger.

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

Annex F
(normative)

Statistical significance of the difference between two regression estimates

Where multiple determinations of a thermal endurance index are made (e.g. the determination may be made several times on a control material), the admissibility of the differences between two results may be assessed using the equations of 12.4.

NOTE In the following discussion, the suffixes A and B refer to the two sets of data on the one material: the first data set (A) is treated as ATE-data, the second set (B) as candidate material data. Data set A may be a pooled value from several other values.

- Calculate the value of x corresponding to the TI value for the first data set (the ATE) (equation 50), the correlation time (equation 51) and the variance of x_A (equation 55).
- At this correlation time, calculate the corresponding values of x_B (equation 52) and its variance (equation 56).
- Calculate the number of degrees of freedom of the difference (x_B-x_A) (equations 58 to 61).
- Calculate the value of t for this difference and compare its value with that in Table C.2 of Annex C, at significance level 0,05.

$$t_{(N_D)} = \frac{(x_B - x_A)}{s_D}$$

A value greater than that tabulated (Table C.2) implies a significant difference between the results. This may imply a change in the control material or in the conditions of ageing. This should be investigated, and if necessary, corrected.

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

Annexe G
(informative)

Programmes informatiques pour la CEI 60216-6

G.1 Introduction

Les programmes du CD-ROM d'accompagnement pour les calculs dans la Partie 6 de la CEI 60216 fonctionnent sous MSDOS[1)] ou un système d'exploitation équivalent.

Contenu du CD-ROM

Annex G.doc
Entry-6.bas, Entry-6.exe
216-6.bas, 216-6.exe
Rte-6.bas, Rte-6.exe
Control.ftd, Control.ftr, Control.ftc
Candidat.ftc

Les fichiers textuels (*.bas) peuvent être édités si nécessaire en utilisant un éditeur de texte ou les programmes "Quick Basic" QB45 ou QBX et sauvegardés en fichiers ASCII avec des extensions de fichier ".bas". Ils peuvent alors être exécutés en utilisant QB45 ou QBX ou compilés en auto-exécutables. Les fichiers exécutables résultant auront l'extension ".exe" et le même radical que les fichiers ".bas".

Les fichiers exécutables sont aptes à être exécutés sous DOS, et peuvent être exécutés sous Windows 95 ou plus récent (98, etc.) en créant une icône pour le fichier et en double-cliquant sur cette icône. Il convient de mettre les options de "raccourci" afin que le programme tourne dans une fenêtre normale.

Pour créer l'icône sous Windows Explorer, cliquer avec le bouton droit de la souris sur le nom du fichier et sélectionner "Créer un raccourci" ou faire glisser le programme sur le bureau.

G.2 216-6.bas (ou .exe)

Le programme requiert des données d'entrée sous forme de fichier texte ASCII obtenus en utilisant le programme Entry-6.bas décrit ci-dessous. Par défaut, l'extension du fichier de données est ".ftd". Cependant, d'autres extensions de fichier peuvent être entrées.

La structure du fichier est similaire aux données d'essais destructifs de la CEI 60216-3, modifiée de sorte que la variable d'essai significatif soit le temps plutôt que la température, en échangeant les rôles du temps et de la température.

L'analyse des données et les essais statistiques sont effectués conformément à la CEI 60216-6 et les résultats sont enregistrés dans le format approprié. Le rapport est enregistré dans un fichier texte avec l'extension ".ftr", pouvant être édité par un traitement de texte.

Les paramètres de résultat requis pour le calcul du RTE sont entrés automatiquement dans un fichier ayant le même nom que le fichier de données expérimentales et avec l'extension ".ftc".

---

1) MSDOS, Quick Basic, Windows 95, Windows 98 et Windows Explorer sont les appellations commerciales d'un produit distribué par Microsoft, Inc.. Cette information est donnée à l'intention des utilisateurs du présent document et ne signifie nullement que la CEI approuve ou recommande l'emploi exclusif du produit ainsi désigné. Des produits équivalents peuvent être utilisés s'il est démontré qu'ils conduisent aux mêmes résultats.

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

Annex G
(informative)

Computer programs for IEC 60216-6

G.1 Introduction

The programs on the accompanying CD-ROM for calculations in Part 6 of IEC 60216 are for use in conjunction with the disk operating system MSDOS[1)] or equivalent.

CD-ROM content

Annex G.doc
Entry-6.bas, Entry-6.exe
216-6.bas, 216-6.exe
Rte-6.bas, Rte-6.exe
Control.ftd, Control.ftr, Control.ftc
Candidat.ftc

The text based program files (*.bas) may be edited if necessary using either a text editor or the "Quick Basic" programs QB45 or QBX and saved as ASCII files with the filename ending in ".bas". They may then be executed using QB45 or QBX or compiled for stand-alone execution. The resultant executable files will have the ending ".exe" and the same file stem as the ".bas" files.

These executable files are suitable for direct execution in DOS, and may be executed in Windows 95 or later (98, etc.) by creating an icon for the file and double-clicking that icon. The "short-cut" options should be set so that the program is run in a normal window.

To create the icon, in Windows Explorer, right click the file name and select "Create Shortcut", or drag the program into the desktop.

G.2 216-6.bas (or .exe)

The program requires data to be entered in the form of an ASCII text file obtained using the associated program Entry-6.bas described below. As default it assumes the file ending for the data file ".ftd" if no file ending is entered. However, other file endings may be entered.

The file structure is similar to that of destructive test data in IEC 60216-3, modified so that the most significant test variable is time rather than temperature, the roles of time and temperature being interchanged.

Data analysis and statistical tests in accordance with IEC 60216-6 are carried out and the results reported in the appropriate format. The report is recorded in a text file with the ending ".ftr", which may be edited in a word processor program.

Result parameters as required for calculation of RTE are automatically entered into a file having the same name as the experimental data file and with the ending ".ftc".

---

1) MSDOS, Quick Basic, Windows 95, Windows 98 and Windows Explorer are the trade names of products supplied by Microsoft, Inc.. This information is given for the convenience of users of this document and does not constitute an endorsement by IEC of the products named. Equivalent products may be used if they can be shown to lead to the same results.

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

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

G.3 Entry-6.bas (ou .exe)

Les données obtenues en utilisant les procédures de la CEI 60216-6 sont entrées suivant les instructions à l'écran pour générer un fichier de données ayant l'extension ".ftd" par défaut. D'autres extensions de fichier peuvent être entrées si nécessaire.

Les données du fichier "Control.ftd" ci-joint peuvent être imprimées et utilisées pour se familiariser avec le programme d'entrée des données.

G.4 RTE-6.bas (ou .exe)

Les fichiers de données obtenus en utilisant 216-6.exe ou 216-6.bas sont requis à la fois pour les matériaux candidats et les matériaux de contrôle. Les essais statistiques sont effectués, et les résultats enregistrés, conformément à la présente norme. Il convient de sauvegarder le rapport dans un fichier ayant le même nom que celui du matériau candidat et l'extension ".fte".

G.5 Fichiers de données

Deux fichiers de données sont fournis pour l'entrée dans RTE-6. Ceux-ci sont nommés Control.ftc et Candidat.ftc. L'ATE fourni à l'origine pour Control.ftd était de 170. Control.ftc est dérivé de Control.ftd.

G.5.1 Contenu du fichier Control.ftd

Les données sur lesquelles sont basées Control.ftd sont les suivantes (S = inclus dans les calculs pour produire les rapports etc. fournis sur ce disque):

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

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

G.3 Entry-6.bas (or .exe)

Data obtained using the procedures of IEC 60216-6 are entered following the screen instructions to generate a data file having by default the ending ".ftd". Other file endings may be entered if required.

The data in the enclosed file "Control.ftd" may be printed and used to gain familiarity with the data entry program.

G.4 RTE-6. bas (or .exe)

Data files obtained using 216-6.exe or 216-6.bas are required for both the control and candidate materials. Statistical tests are carried out, and the results reported, in accordance with the standard. The report may be saved in a file with the same name as that of the candidate material and the extension ".fte".

G.5 Data files

Two data files are provided for entry to RTE-6. These are named Control.ftc and Candidat.ftc. The ATE originally provided for Control.ftd was 170. Control.ftc is derived from Control.ftd.

G.5.1 Content of file Control.ftd

The data on which Control.ftd is based are as follows (S = included in calculations to produce the reports etc supplied on this disc):

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

Durée		Température					Valeurs de propriété				
552											
199		18810	18080	18710	18090	18430	17990	19200	17860	17940	18700
210	S	18480	18700	18370	18750	18010	17260	18950	18680	16450	18260
219	S	14290	15130	15930	15000	14520	14840	14430	16540	15840	15380
229	S	12010	13200	13460	12550	12910	12670	14040	14080	12770	12060
241	S	10590	9820	10230	9680	9220	9720	10100	9880	10340	10070
250		5710	5180	5100	6050	5650	5270	5440	5180	4930	5260
1008											
211		14570	14910	14560	14560						
221	S	11890	11030	11970	10930	11840					
228	S	10730	11300	10750	10500	10880					
240	S	8580	9020	8880	9130	9060					
2016											
175		15740	15630	14470	16020	16210	16870	16500	16250	16410	15790
186	S	17470	16950	16670	17480	17190	17340	17240	17670	16610	16370
199	S	14660	14440	14850	12550	13940	14010	14460	14900	14070	15010
210	S	11850	11260	10520	11790	11630	10660	11180	12060	11920	12240
229	S	8210	8560	8470	8810	8900	8720	8700	8740	8690	8130
5040											
150		15740	15750	15330	15120	15310	15300	15590	14450	14850	14830
160		15690	15340	14900	15400	14860	16020	15360	15910	15640	16100
175		15040	15340	15230	15380	15370	15420	15990	14980	15060	15760
185	S	14590	13940	13850	12360	14610	14930	15170	15140	15100	14940
200	S	11710	12000	12280	11040	11750					
210	S	10130	10460	10340	9060	10050					
Point de fin de vie		10080									

Le contenu réel du fichier est comme celui qui suit (page suivante). Les données des colonnes sont dans le fichier comme une colonne continue, un nombre par ligne.

Les fonctions des nombres sont indiquées dans les commentaires associés à une sélection de nombres.

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

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

Time	Temperature	Property values									
552											
199		18810	18080	18710	18090	18430	17990	19200	17860	17940	18700
210	S	18480	18700	18370	18750	18010	17260	18950	18680	16450	18260
219	S	14290	15130	15930	15000	14520	14840	14430	16540	15840	15380
229	S	12010	13200	13460	12550	12910	12670	14040	14080	12770	12060
241	S	10590	9820	10230	9680	9220	9720	10100	9880	10340	10070
250		5710	5180	5100	6050	5650	5270	5440	5180	4930	5260
1008											
211		14570	14910	14560	14560						
221	S	11890	11030	11970	10930	11840					
228	S	10730	11300	10750	10500	10880					
240	S	8580	9020	8880	9130	9060					
2016											
175		15740	15630	14470	16020	16210	16870	16500	16250	16410	15790
186	S	17470	16950	16670	17480	17190	17340	17240	17670	16610	16370
199	S	14660	14440	14850	12550	13940	14010	14460	14900	14070	15010
210	S	11850	11260	10520	11790	11630	10660	11180	12060	11920	12240
229	S	8210	8560	8470	8810	8900	8720	8700	8740	8690	8130
5040											
150		15740	15750	15330	15120	15310	15300	15590	14450	14850	14830
160		15690	15340	14900	15400	14860	16020	15360	15910	15640	16100
175		15040	15340	15230	15380	15370	15420	15990	14980	15060	15760
185	S	14590	13940	13850	12360	14610	14930	15170	15140	15100	14940
200	S	11710	12000	12280	11040	11750					
210	S	10130	10460	10340	9060	10050					
Endpoint		10080									

The actual file content is as shown below (next page). The data in the columns are in the file as one continuous column, one number per line.

The functions of the numbers are indicated in the comments associated with a selection of the numbers.

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

4 (Number of exposure times)
6 (Max number of temperatures at any time)
10 (Max number of specimens in any temperature group)
552 (Ageing time #1)
6 (Number of temperature groups)
199 (Ageing temperature #1,1)
10 (Number of specimens)
18810 (Property value #1,1,1)
18080 (Property value #1,1,2)
18710
18090
18430
17990
19200
17860
17940
18700
210 (Temperature #1,2)
10
18480
18700
18370
18750
18010
17260
18950
18680
16450
18260
219
10
14290
15130
15930
15000
14520
14840
14430
16540
15840
15380
229
10
12010
13200
13460
12550
12910
12670
14040
14080
12770
12060
241
10
10590
9820
10230
9680
9220
9720
10100
9880
10340
10070
250
10
5710
5180
5100
6050
5650
5270
5440
5180
4930
5260
1008 (Time #2)
4
211 (Temperature #2,1)
4
14570 (Property value #2,1,1)
14910
14560
14560
221
5
11890
11030
11970
10930
11840
228
5
10730
11300
10750
10500
10880
240
5
8580
9020
8880
9130
9060
2016
5
175
10
15740
15630
14470
16020
16210
16870
16500
16250
16410
15790
186
10
17470
16950
16670
17480
17190
17340
17240
17670
16610
16370
199
10
14660
14440
14850
12550
13940
14010
14460
14900
14070
15010
210
10
11850
11260
10520
11790
11630
10660
11180
12060
11920
12240
229
10
8210
8560
8470
8810
8900
8720
8700
8740
8690
8130
5040
6
150
10
15740
15750
15330
15120
15310
15300
15590
14450
14850
14830
160
10
15690
15340
14900
15400
14860
16020
15360
15910
15640
16100
175
10
15040
15340
15230
15380
15370
15420
15990
14980
15060
15760
185
10
14590
13940
13850
12360
14610
14930
15170
15140
15100
14940
200
5
11710
12000
12280
11040
11750
210
5
10130
10460
10340
9060
10050
10080

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

4 (Number of exposure times)
6 (Max number of temperatures at any time)
10 (Max number of specimens in any temperature group)
552 (Ageing time #1)
6 (Number of temperature groups)
199 (Ageing temperature #1,1)
10 (Number of specimens)
18810 (Property value #1,1,1)
18080 (Property value #1,1,2)
18710
18090
18430
17990
19200
17860
17940
18700
210 (Temperature #1,2)
10
18480
18700
18370
18750
18010
17260
18950
18680
16450
18260
219
10
14290
15130
15930
15000
14520
14840
14430
16540
15840
15380
229
10
12010
13200
13460
12550
12910
12670
14040
14080
12770
12060
241
10
10590
9820
10230
9680
9220
9720
10100
9880
10340
10070
250
10
5710
5180
5100
6050
5650
5270
5440
5180
4930
5260
1008 (Time #2)
4
211 (Temperature #2,1)
4
14570 (Property value #2,1,1)
14910
14560
14560
221
5
11890
11030
11970
10930
11840
228
5
10730
11300
10750
10500
10880
240
5
8580
9020
8880
9130
9060
2016
5
175
10
15740
15630
14470
16020
16210
16870
16500
16250
16410
15790
186
10
17470
16950
16670
17480
17190
17340
17240
17670
16610
16370
199
10
14660
14440
14850
12550
13940
14010
14460
14900
14070
15010
210
10
11850
11260
10520
11790
11630
10660
11180
12060
11920
12240
229
10
8210
8560
8470
8810
8900
8720
8700
8740
8690
8130
5040
6
150
10
15740
15750
15330
15120
15310
15300
15590
14450
14850
14830
160
10
15690
15340
14900
15400
14860
16020
15360
15910
15640
16100
175
10
15040
15340
15230
15380
15370
15420
15990
14980
15060
15760
185
10
14590
13940
13850
12360
14610
14930
15170
15140
15100
14940
200
5
11710
12000
12280
11040
11750
210
5
10130
10460
10340
9060
10050
10080

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

G.5.2 Fichier de rapport

Le fichier de rapport généré pour les données ci-dessus est control.ftr; son contenu est:

filename: d:\temp\control.ftd

The result is TI (HIC): 190.6 (8.8)

Lower 95% confidence limit of TI 188.5

Chi-Squared (DF) 8.3164 (3)

F (nn, nd) 6.095 (2, 111)

Longest mean time to endpoint 5040

Compensated non-linearity

Non-linearity + destructive test non-linearity

Selected ageing temperatures

Time	552	210	219	229	241
Time	1008	221	228	240	
Time	2016	186	199	210	229
Time	5040	185	200	210	

Linearity tests

Time 552	F = 1.852	F(0.95, 2, 36) = 3.162	F(0.995, 2, 36) = 6.044
Time 1008	F = 1.962	F(0.95, 1, 12) = 4.743	F(0.995, 1, 12) = 11.715
Time 2016	F = 5.294	F(0.95, 2, 36) = 3.162	F(0.995, 2, 36) = 6.044
Time 5040	F = 0.003	F(0.95, 1, 17) = 4.487	F(0.995, 1, 17) = 10.365

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

G.5.2 Report file

The report file generated for the above data is control.ftr; its content is:

filename: d:\temp\control.ftd

The result is TI (HIC): 190.6 (8.8)

Lower 95% confidence limit of TI 188.5

Chi-Squared (DF) 8.3164 (3)

F (nn, nd) 6.095 (2, 111)

Longest mean time to endpoint 5040

Compensated non-linearity

Non-linearity + destructive test non-linearity

Selected ageing temperatures

Time	552	210	219	229	241
Time	1008	221	228	240	
Time	2016	186	199	210	229
Time	5040	185	200	210	

Linearity tests

Time 552	F = 1.852	F(0.95, 2, 36) = 3.162	F(0.995, 2, 36) = 6.044
Time 1008	F = 1.962	F(0.95, 1, 12) = 4.743	F(0.995, 1, 12) = 11.715
Time 2016	F = 5.294	F(0.95, 2, 36) = 3.162	F(0.995, 2, 36) = 6.044
Time 5040	F = 0.003	F(0.95, 1, 17) = 4.487	F(0.995, 1, 17) = 10.365

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

G.5.3 Graphique d'endurance thermique

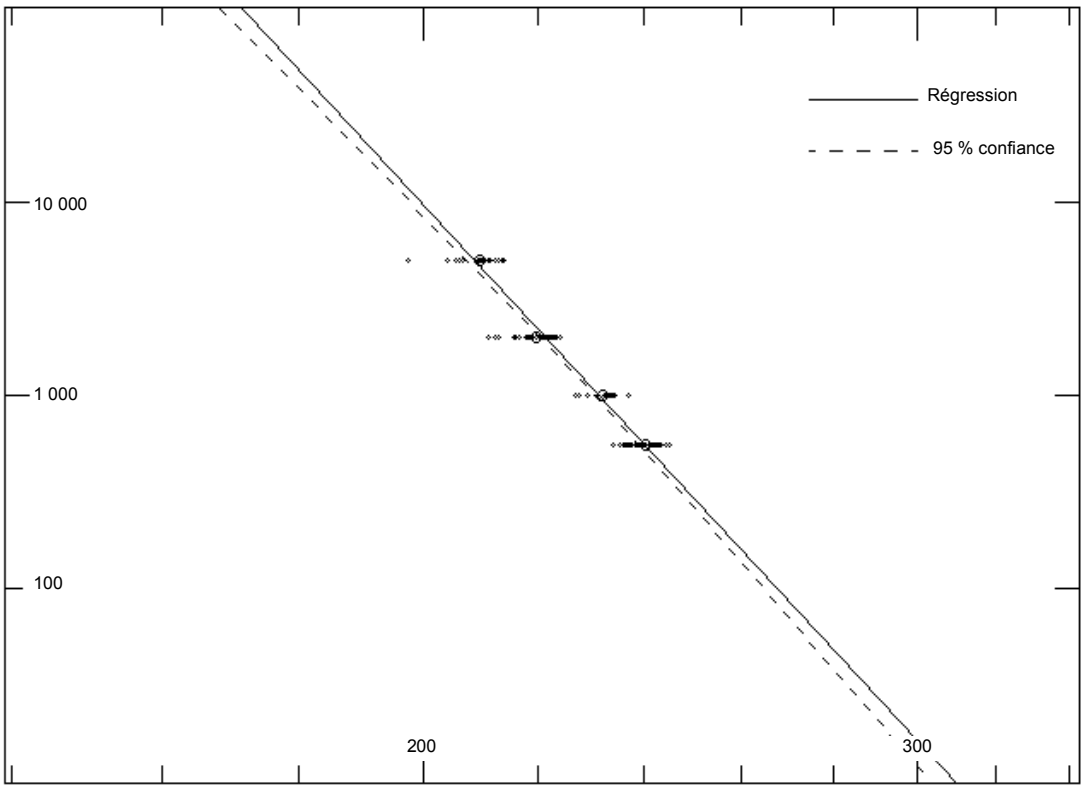


Figure G.1 − Graphique d'endurance thermique

Il est recommandé de copier dans le presse-papiers de Windows le graphe d'endurance thermique représenté dans un format graphique (voir Figure G.1). On peut ensuite importer le graphe dans un autre programme Windows (par exemple un traitement de texte) de la façon habituelle. Les graphiques pour matériaux ayant des propriétés de vieillissement différentes sont produits avec des échelles de température compatibles, chacune étant en fait une fenêtre de largeur fixe sur une échelle de température inverse infinie.

G.6 Contenu du fichier Control.ftc

Ce fichier contient les informations requises pour les calculs de RTE (un fichier similaire est requis pour le matériau candidat). Les valeurs réelles contenues sont:

7.2272680519088
0.646666369249988
2.00152633394296D-03
3.38025166055829D-10
115
5.78159898962069D-05
1.58367467727663D-03
5040

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

G.5.3 Thermal endurance graph

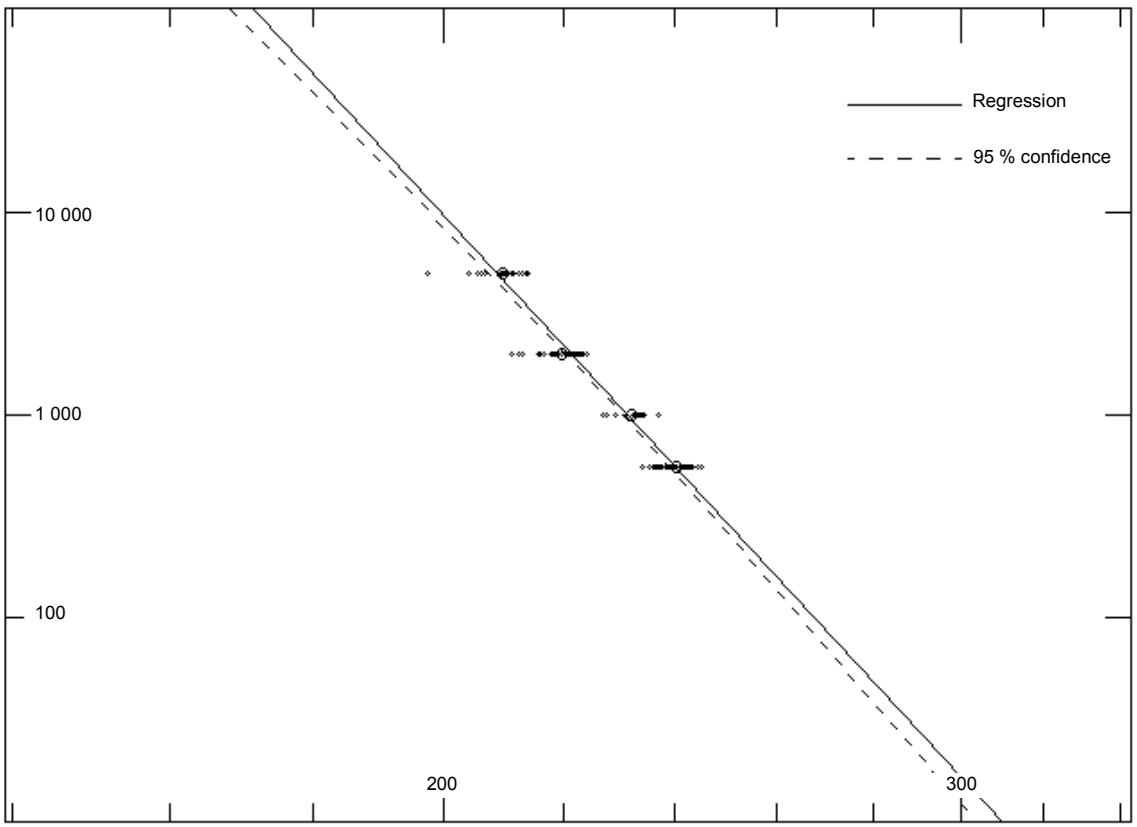


Figure G.1 − Thermal endurance graph

The thermal endurance graph is presented in a graphics format which may be copied into the Windows clipboard (see Figure G.1). The graph may then be imported into another Windows program (e.g. a word processor) in the usual way. Graphs for materials having different ageing properties are produced with compatible temperature scales, each being in effect a "window" of fixed width in an infinitely long reciprocal temperature scale.

G.6 Content of file Control.ftc

This file contains the information required for the RTE calculations (a similar file is required for the candidate material). The actual values contained are:

7.2272680519088
0.646666369249988
2.00152633394296D-03
3.38025166055829D-10
115
5.78159898962069D-05
1.58367467727663D-03
5040

These values are as specified in 12.2 of this standard. They are calculated and saved in the file as double precision floating point numbers.

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

Ces valeurs sont celles qui sont spécifiées en 12.2 de la présente norme. Elles sont calculées et sauvegardées dans le fichier sous la forme de nombres en double précision en virgule flottante.

G.7 Copie des graphes dans des rapports sous traitement de texte

Si les graphes doivent être inclus dans un rapport, il convient de lancer le traitement de texte avant le programme 216-6 qu'il convient de configurer pour une fenêtre DOS. Bien que les graphes s'affichent plein écran, le changement à partir de ou vers une fenêtre DOS (texte) est automatique.

Quand le graphe s'affiche, il est copié dans le presse-papiers de Windows en appuyant sur les touches Print Screen ou ALT + Print Screen (ALT + Print Screen copie la fenêtre active: Print Screen copie l'écran actif). Il convient alors d'afficher à l'écran le traitement de texte en appuyant sur ALT + Esc ou ALT + Tab à plusieurs reprises, si nécessaire. Le transfert est alors complété par la fonction du menu Edit / Paste Special / Device Independent Bitmap. Ne pas utiliser le raccourci Control + V, car celui-ci incorporerait le graphe dans un format peu pratique (changer cela est un processus fastidieux). Il convient de mettre en forme le graphe pour le dimensionner et le mettre au repère de la façon habituelle. Un matériau indésirable peut en général être enlevé avec la fonction rognage de la barre d'outils de dessin.

Le retour au programme 216-6 est alors effectué en appuyant sur le label 216-6 de la barre des tâches de Windows ou (à plusieurs reprises) sur ALT + Tab or ALT + Esc.

Il convient d'importer le fichier de rapport *.ftr directement dans un traitement de texte et de le mettre en forme de la façon habituelle.

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

G.7 Copying graphs to word processor reports

If it is required to include the graphs in a report, the word processor program should be started before the 216-6 program, which should be set up to run in a DOS window. Although the graphs are displayed full screen, the change from and back to a DOS (text) window is automatic.

When the graph is displayed, it is copied to the Windows clipboard by pressing Print Screen or ALT + Print Screen key (ALT + Print Screen copies the active window: Print Screen copies the active screen).The word processor my then be brought to the screen by pressing ALT + Esc or ALT + Tab, if necessary, repeatedly. The transfer is then completed by means of the menu function Edit / Paste Special / Device Independent Bitmap. Do not use the Control + V shortcut, as this will insert the graph in an inconvenient format (changing this is a very tedious process). The graph may be edited for size and position in the usual way. Unwanted material can generally be removed with the crop function of the drawing toolbar.

Return to the 216-6 program is then carried out from either the 216-6 label on the Windows taskbar or by (repeatedly) pressing ALT + Tab or ALT + Esc.

The report file *.ftr may be imported directly into a word processor report and edited or formatted in the usual way.

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

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.

Nicht frankieren
Ne pas affranchir

Non affrancare
No stamp required

A Prioritaire

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 2-8318-8663-5



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