

**RAPPORT  
TECHNIQUE  
TECHNICAL  
REPORT**

**CEI  
IEC**

**60216-5**

Première édition  
First edition  
1990-04

---

---

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

**Cinquième partie:**

Guide pour l'utilisation des caractéristiques  
d'endurance thermique

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

**Part 5:**

Guidelines for the application of thermal  
endurance characteristics



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 60216-5: 1990

## Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60 000.

## Publications 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.

## Validité de la présente publication

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

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI\*
- **Catalogue des publications de la CEI**  
Publié annuellement et mis à jour régulièrement (Catalogue en ligne)\*
- **Bulletin de la CEI**  
Disponible à la fois au «site web» de la CEI\* et comme périodique imprimé

## Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International (IEV)*.

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

\* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

## Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60 000 series.

## Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. 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.

## Validity of this publication

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

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

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 to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site\***
- **Catalogue of IEC publications**  
Published yearly with regular updates (On-line catalogue)\*
- **IEC Bulletin**  
Available both at the IEC web site\* and as a printed periodical

## Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary (IEV)*.

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

\* See web site address on title page.

RAPPORT  
TECHNIQUE  
TECHNICAL  
REPORT

CEI  
IEC

60216-5

Première édition  
First edition  
1990-04

---

---

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

**Cinquième partie:**  
Guide pour l'utilisation des caractéristiques  
d'endurance thermique

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

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

© IEC 1990 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

International Electrotechnical Commission  
Telefax: +41 22 919 0300

e-mail: [inmail@iec.ch](mailto:inmail@iec.ch)

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland  
IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE

H

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

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

**Cinquième partie: Guide pour l'utilisation des caractéristiques d'endurance thermique**

PRÉAMBULE

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

PRÉFACE

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

Le texte de ce rapport est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
15B(BC)66	15B(BC)74

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

Les publications suivantes de la CEI sont citées dans la présente norme:

Publications n°s 216-	Guide pour la détermination des propriétés d'endurance thermique de matériaux isolants électriques.
216-1 (1990):	Première partie: Guide général relatif aux méthodes de vieillissement et à l'évaluation des résultats d'essais.
216-3:-	Troisième partie: Instructions pour le calcul des caractéristiques d'endurance thermique.
216-3-1 (1990):	Section un - Calculs basés sur les valeurs moyennes des résultats complets normalement distribués.
611 (1978):	Guide pour la préparation de procédures d'essai pour l'évaluation de l'endurance thermique des systèmes d'isolation électrique.

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

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

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

#### FOREWORD

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

#### PREFACE

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

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

Six Months' Rule	Report on Voting
15B(CO)66	15B(CO)74

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

*The following IEC publications are quoted in this standard:*

Publications Nos. 216:-	Guide for the determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials.
216-1 (1990):	Part 1: General guidelines for ageing procedures and evaluation of test results.
216-3:-	Part 3: Instructions for calculating thermal endurance characteristics.
216-3-1 (1990):	Section One – Calculations using mean values of normally distributed complete data.
611 (1978):	Guide for the preparation of test procedures for evaluating the thermal endurance of electrical insulation systems.

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

## Cinquième partie: Guide pour l'utilisation des caractéristiques d'endurance thermique

### INTRODUCTION

La Publication 216 de la CEI: Guide pour la détermination des propriétés d'endurance thermique de matériaux isolants électriques, est composée de plusieurs parties:

- Première partie: Guide général relatif aux méthodes de vieillissement et à l'évaluation des résultats d'essai (Publication 216-1 de la CEI).
- Deuxième partie: Choix de critères d'essai (Publication 216-2 de la CEI).
- Troisième partie: Instructions pour le calcul des caractéristiques d'endurance thermique (Publication 216-3 de la CEI).
- Quatrième partie: Etuves de vieillissement (Publication 216-4 de la CEI).
- Cinquième partie: Guide pour l'utilisation des caractéristiques d'endurance thermique (Publication 216-5 de la CEI).

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

Les parties 1 à 4 décrivent en détail comment sont obtenues les caractéristiques d'endurance thermique des matériaux isolants électriques. La cinquième partie suggère au fabricant de matériel électrotechnique différentes manières de prendre en considération ces caractéristiques lors de la conception de l'isolation du matériel.

Il est exceptionnel de trouver une situation dans laquelle les caractéristiques notées donnent exactement l'information recherchée. Normalement, cette information doit être déduite des connaissances disponibles sur l'endurance thermique. Dans ce but, cette partie donne des directives appropriées fondées sur une méthode spécifique d'évaluation. La méthode peut être applicable aussi à des cas qui sont hors du domaine d'application de cette partie.

#### 1. Domaine d'application et objet

Cette partie donne des directives pour estimer l'aptitude de matériaux isolants électriques et de leurs combinaisons simples dans la conception d'une isolation spécifique, lorsque l'endurance thermique est le problème principal.

Une méthode d'évaluation est fournie pour effectuer les projections requises à partir des caractéristiques disponibles d'endurance thermique lorsqu'elles ne donnent pas directement ou exactement l'information recherchée. Les projections sont faites à partir de l'IT ou de l'IRT déterminé expérimentalement en utilisant l'intervalle de division par deux (IDC) avec les multiplicateurs appropriés dont la détermination est décrite.

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

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

### INTRODUCTION

Publication 216: Guide for the determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials, is composed of several parts:

Part 1: General guidelines for ageing procedures and evaluation of test results (IEC Publication 216-1).

Part 2: Choice of test criteria (IEC Publication 216-2).

Part 3: Instructions for calculating thermal endurance characteristics (IEC Publication 216-3).

Part 4: Ageing ovens (IEC Publication 216-4).

Part 5: Guidelines for application of thermal endurance characteristics (IEC Publication 216-5).

*Note.*— This work may be continued. For revisions and new parts, see the current catalogue of IEC publications for an up-to-date list.

Parts 1 to 4 describe in detail how thermal endurance characteristics of electrical insulating materials are derived. Part 5 suggests ways in which the manufacturer of electrotechnical equipment might consider such characteristics when designing equipment insulation.

The situation in which the reported characteristics convey exactly the information sought is exceptional. Normally, this information has to be inferred from the available knowledge of thermal endurance. For that purpose, this part gives pertinent guidelines which are based on a specific evaluation method. The method may be applicable also in cases outside the scope of this part.

### 1. Scope and object

This part gives guidelines for assessing the suitability of electrical insulating materials and simple combinations thereof in specific insulation designs when thermal endurance is the principal concern.

A method of evaluation is given to carry out the required projections from the available thermal endurance characteristics when they do not directly or exactly convey the information sought. The projections are made from the experimentally determined TI or RTI using the halving interval (HIC) with appropriate multipliers whose derivation is described.

## 2. Termes et définitions

Les caractéristiques d'endurance thermique définies et expliquées dans la quatrième édition de la Publication 216-1 de la CEI sont:

### 2.1 *Indice de température (IT)*

Nombre correspondant à la température, en degrés Celsius, déduite de la relation d'endurance thermique pour un temps donné, de 20000 h, sauf spécification contraire.

### 2.2 *Indice relatif de température (IRT)*

Indice de température d'un matériau en essai, obtenu à partir du temps correspondant à l'indice connu de température d'un matériau de référence, lorsque ces deux matériaux sont soumis aux mêmes modes de vieillissement et de diagnostic, dans un essai comparatif.

### 2.3 *Intervalle de division par deux (IDC)*

Nombre correspondant à l'intervalle de température, en degrés Celsius, qui exprime la division par deux du temps pour atteindre le point limite, pris à la température de l'IT ou de l'IRT.

## 3. Signification

La méthode d'évaluation décrite ici fournit des données permettant de comparer et de choisir des matériaux (ou leurs combinaisons simples) en concurrence pour la réalisation d'une isolation déterminée.

Les Comités Techniques responsables de produits peuvent aussi trouver utiles les principes de la présente méthode d'évaluation lorsque l'isolation de leur matériel est constituée et contrainte de façon si simple que les essais fonctionnels suivant la Publication 611 de la CEI ne seraient pas justifiés.

*Note.* – La préparation d'un guide pour la détermination d'une température estimée en service de matériaux isolants est à l'étude. Les données obtenues par la méthode de la présente norme peuvent constituer une étape dans cette détermination.

## 4. Principe de la méthode d'évaluation

On estime l'aptitude d'un matériau ou le classement des matériaux en concurrence destinés à une isolation déterminée à partir des caractéristiques d'endurance thermique des matériaux. Ces caractéristiques sont l'indice de température IT du matériau ou son indice relatif de température IRT, ainsi que l'intervalle de division par deux IDC, relatifs à une propriété et un point limite déterminés. L'IT (ou l'IRT) définit un point de la relation d'endurance thermique et l'IDC définit sa pente. L'IDC est inversement proportionnel à l'énergie d'activation qui est la mesure habituelle de la pente.

La connaissance de la pente de la relation d'endurance thermique est indispensable pour effectuer les projections à des temps pour atteindre le point limite, différents de celui utilisé pour obtenir l'indice. A cet effet, l'IDC est un outil pratique de l'ingénieur.

Une faible valeur de l'IDC résultant d'une valeur élevée de l'énergie d'activation signifie que la courbe d'Arrhénius a une forte pente. Les matériaux ayant cette propriété permettent de présumer un fonctionnement sans défaillance pendant de longues durées à des températures inférieures à l'IT ou l'IRT. Par contre, une valeur élevée de l'IDC qui correspond à une faible énergie d'activation est représentative d'une courbe d'Arrhénius plate. Les matériaux ayant cette propriété sont habituellement considérés comme moins sûrs pour les applications à long terme, mais ils peuvent être préférés pour un fonctionnement de courte durée à des températures nettement plus élevées que celles représentées par l'IT ou l'IRT.

## 2. Terms and definitions

The thermal endurance characteristics defined and explained in the fourth edition of IEC Publication 216-1 are:

### 2.1 Temperature index (TI)

The number corresponding to the temperature in degrees Celsius derived from the thermal endurance relationship at a given time, i.e., 20000 h, unless otherwise specified.

### 2.2 Relative temperature index (RTI)

The temperature index of a test material obtained from the time which corresponds to the known temperature index of a reference material when both materials are subjected to the same ageing and diagnostic procedures in a comparative test.

### 2.3 Halving interval (HIC)

The number corresponding to the temperature interval in degrees Celsius which expresses the halving of the time to end-point taken at the temperature of the TI or the RTI.

## 3. Significance

Data are obtained by the evaluation method described here for use in comparing and selecting candidate materials (or simple combinations thereof) for specific insulation design purposes.

Technical Committees responsible for products may also find the principles of the present evaluation method useful when their equipment insulation is so simply constructed and stressed that functional testing according to IEC Publication 611 would not be justified.

*Note.* – The preparation of a guide for the derivation of an estimated service temperature of insulating materials is under consideration. Data obtained by the method of this standard may provide one step in this derivation.

## 4. Principle of evaluation method

The suitability of a material, or the ranking of candidate materials, for a specific insulation purpose is assessed from the thermal endurance characteristics of the materials. These characteristics are the material's temperature index TI or relative temperature index RTI together with the halving interval HIC, for a particular property and end-point. TI (or RTI) defines a point of the thermal endurance relationship and the HIC defines its slope. HIC is reciprocally related to the activation energy which is the usual measure of the slope.

Knowing the slope of the thermal endurance relationship is indispensable for carrying out projections to times to end-point different from that used to derive the index. The HIC is a practical engineering tool for such purposes.

A small value of HIC resulting from a high value of the activation energy means that the Arrhenius graph is steep. Materials with this property have a prospect of operating safely for long periods at temperatures below TI or RTI. A large value of HIC with corresponding low activation energy, on the other hand, is representative of a flat Arrhenius graph. Materials with this property are usually considered as being less safe for long term applications, but they may be preferred for short term operation at temperatures significantly higher than that represented by TI or RTI.

Les jugements techniques de cette sorte peuvent être quantifiés au moyen de calculs appropriés. La méthode donnée ici est, en principe, une méthode mathématique de projection suivant la droite de régression décrivant la relation d'endurance thermique du matériau. On obtient, de cette façon, la valeur du temps correspondant à la température.

Divers types d'incertitude associés au champ d'extrapolation, à la dispersion des résultats, etc., peuvent être pris en compte par l'introduction de facteurs fournissant une marge de sécurité.

En principe, on suppose que les caractéristiques d'endurance thermique sont exprimées selon la Publication 216-1 de la CEI, c'est-à-dire, suivant les cas :

- l'indice de température IT, lorsque les résultats satisfont aux exigences statistiques de la Publication 216-3-1 de la CEI (troisième édition):

$$IT(IDC)$$

- ou, lorsque ces exigences ne sont pas remplies et que l'IT est déterminé graphiquement:

$$IT_g \text{ et } IDC_g$$

- ou, lorsque l'on donne l'indice relatif de température IRT:

$$IRT \text{ et } IDC.$$

Toutefois, des méthodes appropriées seront brièvement décrites pour le cas où l'on n'a à sa disposition que les caractéristiques selon la deuxième édition de la Publication 216-3 de la CEI, c'est-à-dire le PET (profil d'endurance thermique), ou encore l'IT (ou l'IRT) et le graphique d'endurance thermique.

*Note.* – Pour la définition du PET, voir l'annexe D de la Publication 216-1 de la CEI (quatrième édition).

Pour faciliter les comparaisons et les évaluations, la méthode est formulée de façon à caractériser chaque matériau par un seul nombre. Ce nombre correspond à la température Celsius représentant la même propriété et le même point limite que la caractéristique d'endurance thermique d'où l'on part pour la détermination. Dans la formule donnée ci-dessous, ce nombre est désigné par le symbole «VTP» (valeur de la température projetée).

La VTP est déduite de l'IT ou de l'IRT ou du premier nombre du PET (symbole «IT»). Elle est obtenue en effectuant un déplacement de  $p$  fois l'intervalle de division par deux IDC à partir de l'IT, suivant la relation d'endurance thermique. Le multiplicateur  $p$  peut être un nombre entier ou fractionnaire. Dans la plupart des cas, ce sera un nombre entier positif qui donnera une VTP plus faible que l'IT, mais si  $p$  est négatif, ce sera l'inverse.

La détermination de la VTP est donnée par:

$$VTP = IT - p \cdot IDC \quad (1)$$

(ou  $VTP = IRT - p \cdot IDC$ , comme il convient).

Le multiplicateur  $p$  est une somme de composantes  $p_i$  qui représentent chacune différents cas d'évaluation ou d'incertitude:

$$p = \sum_i p_i \quad (2)$$

Engineering judgements of this kind may be quantified by means of appropriate calculations. The method given here is, in principle, a mathematical procedure of projection along the regression line describing the material's thermal endurance relationship. In this way, corresponding values of temperature and time are derived.

Various kinds of uncertainty associated with the range of extrapolation, the dispersion of the data points, etc., may be taken into account by the introduction of factors providing a safety margin.

It is primarily assumed that thermal endurance characteristics are given in accordance with IEC Publication 216-1, i.e.:

- the temperature index TI when the data points satisfy the statistical requirements of IEC Publication 216-3-1 (third edition):

$$TI(HIC)$$

- or, when these requirements are not met or TI is determined graphically:

$$TI_g \text{ and } HIC_g$$

- or, when the relative temperature index RTI is given:

$$RTI \text{ and } HIC.$$

as the case may be.

However, appropriate procedures will be briefly given for the case when only characteristics according to the second edition of IEC Publication 216-3 are available, i.e. TEP (thermal endurance profile) or, possibly, TI (or RTI) and the thermal endurance graph.

*Note.* – For the definition of TEP, see IEC Publication 216-1 (fourth edition), Appendix D.

To facilitate comparisons or assessments, the procedure is formulated to produce a single figure for each material. This figure corresponds to the Celsius temperature representing the same property and end-point as the thermal endurance characteristic from which the derivation starts. In the formula given below, this figure is denoted by the symbol "PTN" (projected temperature number).

PTN is derived from the TI or the RTI or the first figure of the TEP (symbol "TI"). PTN is obtained by moving a step of  $p$  times the halving interval HIC from TI along the thermal endurance relationship. The multiplier  $p$  may be an integer or fractional number. It will in most cases be a positive number which results in a PTN that is lower than TI, but the reverse applies if  $p$  is negative.

The derivation of PTN is given by:

$$PTN = TI - p \cdot HIC \quad (1)$$

(or  $PTN = RTI - p \cdot HIC$  if appropriate).

The multiplier  $p$  is a sum of components  $p_i$  each of which represents different cases of evaluation or uncertainty:

$$p = \sum_i p_i \quad (2)$$

L'application de l'équation (1) devra être limitée aux cas où la valeur absolue de  $p$  n'excède pas la valeur limite de 2,0, en raison de la variation de l'IDC avec la température. Dans l'annexe A, on donne une formule qui corrige l'erreur correspondante.

L'annexe A contient aussi des considérations sur les facteurs fournissant des marges de sécurité pour l'extrapolation en dehors de la gamme de températures de l'essai d'endurance thermique.

A l'article 5, on donne une détermination détaillée de  $p$  pour passer d'une valeur de temps ou de température à une autre valeur. Les questions relatives à la possibilité d'appliquer la méthode à l'estimation de différents points limites ou même de différentes propriétés sont discutées à l'article 6.

Plus la VTP calculée est élevée, mieux le matériau sera considéré au regard de l'endurance thermique conformément aux hypothèses à partir desquelles la VTP est déduite.

Même les relations non linéaires d'endurance thermique, si elles sont connues et exprimées avec suffisamment de précision, permettent l'estimation de la VTP. Dans ce cas, cependant, l'équation (1) n'est pas applicable.

## 5. Méthode

L'équation (1) simple et apparemment évidente est une approximation satisfaisante seulement pour de faibles intervalles de température, et, même dans ce cas, seulement lorsque la relation d'endurance thermique est exprimée par une équation de régression linéaire. Voir aussi l'article A2 de l'annexe A.

On doit observer ce qui suit:

5.1 1. Les données d'endurance thermique, selon la quatrième édition de la Publication 216-1 de la CEI, contiennent explicitement l'intervalle de division par deux IDC qui est introduit dans l'équation (1).

2. Dans le cas des données selon la deuxième édition de la Publication 216-1 de la CEI, l'IDC doit être déterminé comme suit:

a) Si le PET est donné, l'IDC est calculé comme suit à partir du premier et du second nombre,  $\vartheta_{20}$  et  $\vartheta_5$ :

$$\text{IDC} = [(\vartheta_{20} + 273)/(\vartheta_5 + 273)] \cdot (\vartheta_5 - \vartheta_{20})/2 \quad (3)$$

b) Si l'IT ou l'IRT est donné, l'IDC est obtenu à partir de la relation d'endurance thermique au temps correspondant à l'IT ou l'IRT et à la moitié de ce temps.

5.2 La composante  $p_1$  pour la projection faite à partir d'un temps de référence  $t_r$  (en heures) vers un temps différent  $t_x$ , en utilisant l'intervalle de division par deux IDC, est donnée par la relation:

$$p_1 = \ln t_x / \ln 2 - \ln t_r / \ln 2 \quad (4)$$

Avec des logarithmes de base dix (briggsiens) et une valeur de 20000 h pour  $t_r$ ,

$$p_1 = 3,322 \lg t_x - 14,288 \quad (5)$$

The application of equation (1) should be limited to cases where the absolute value of  $p$  does not exceed the limiting value of 2.0, in view of the variation of HIC with temperature. In Appendix A, a formula is given which corrects the corresponding error.

Appendix A also contains considerations regarding factors providing safety margins for extrapolation outside the temperature range of the thermal endurance test.

In Clause 5 the derivation of  $p$  is detailed for going from one value of time or temperature to another value. Questions relating to the possibility of applying the method for the estimation of different end-points or even properties are discussed in Clause 6.

The higher the calculated PTN, the better a material will be considered to be with regard to thermal endurance under the assumptions on which PTN is derived.

Even non-linear thermal endurance relationships, if known and expressed with sufficient accuracy, enable the estimation of PTN. In this case, however, equation (1) is not applicable.

## 5. Procedure

The simple and apparently self-evident equation (1) is an approximation only satisfactory for small temperature intervals and, even then, only when the thermal endurance relationship is expressed by a linear regression equation. See also Clause A2 of Appendix A.

The following shall be observed:

5.1 1. Thermal endurance data, according to the fourth edition of IEC Publication 216-1, will explicitly contain the halving interval HIC which is inserted into equation (1).

2. In the case of data according to the second edition of IEC Publication 216-1, HIC shall be derived as follows:

a) If TEP is given, HIC shall be calculated from its first and second number  $\vartheta_{20}$  and  $\vartheta_5$  as follows:

$$\text{HIC} = [(\vartheta_{20} + 273)/(\vartheta_5 + 273)] \cdot (\vartheta_5 - \vartheta_{20})/2 \quad (3)$$

b) If TI or RTI is given, HIC shall be derived from the thermal endurance relationship at the time corresponding to the TI or RTI and one half of this value.

5.2 The component  $p_1$  for projection from a reference time  $t_r$  (in hours) to a different time  $t_x$ , by using the halving interval HIC, is given by the relationship:

$$p_1 = \ln t_x / \ln 2 - \ln t_r / \ln 2 \quad (4)$$

With base ten (Briggsian) logarithms and the value of 20000 h for  $t_r$ ,

$$p_1 = 3.322 \lg t_x - 14.288 \quad (5)$$

## 6. Application de la méthode

La méthode de projection à partir de la relation d'endurance thermique est en principe utilisable pour deux applications:

- a) Si différents matériaux sont caractérisés par des indices d'endurance thermique (IT, IRT) relatifs à des temps différents, il est nécessaire, pour les comparer, de transformer ces temps en un même temps pour atteindre le point limite (le temps commun d'IT).
- b) Si le but de la projection est une VTP pour un temps différent de celui de l'IT (éventuellement après transformation selon a)) une transformation est nécessaire.

L'utilisateur de matériaux isolants électriques a souvent à choisir des matériaux pour une application particulière à un produit pour laquelle le point limite approprié et même la propriété concernée diffèrent de ceux pour lesquels ont été établies les caractéristiques d'endurance thermique, dans les feuilles de données par exemple. Il peut envisager d'utiliser la méthode de projection, donnée ici, pour transformer les données afin de les adapter à ses besoins. En règle générale, une telle pratique présente un risque important de tirer des conclusions fallacieuses. La principale raison à cela est que la méthode de projection de la présente partie repose sur une pente connue et essentiellement constante de la relation d'endurance thermique. Or, les caractéristiques d'endurance thermique relatives à différentes propriétés du même matériau ont souvent des pentes différentes. C'est aussi le cas, à un degré moindre mais encore significatif, pour différents points limites de la même propriété.

Pour ces raisons, l'application de la méthode d'évaluation décrite ici ne peut pas être encouragée universellement, dans le présent rapport, pour les transformations visant les propriétés et les points limites. Néanmoins, si une telle approche est tentée dans des cas particuliers, elle doit reposer sur une base saine d'évidence physique. Par exemple, la forme de la courbe de la propriété en fonction de la durée de vieillissement devrait être connue dans la gamme complète de températures intéressée, si le but de l'évaluation est un point limite différent pour la même propriété. Des preuves additionnelles sûres devraient être requises avant même d'envisager des estimations de la détérioration d'une propriété différente.

D'un point de vue purement formel, des estimations telles que celles qui viennent d'être discutées peuvent, si cela est justifiable, être effectuées en utilisant l'équation (4).

## 6. Application of the method

The method of projection along the thermal endurance relationship is primarily applicable for two purposes:

- a) If different materials are characterized by thermal endurance indices (TI, RTI) which relate to different times, they need to be transformed to a common time to end-point to be comparable (the common TI time).
- b) If the goal of the projection is a PTN for a time different from the TI time (possibly after transformation according to a)) a transformation is required.

The user of electrical insulating materials often has to select materials for a particular product application where the relevant end-point and even property differ from those for which thermal endurance characteristics are listed, for example, in data sheets. He might consider employing the projection method which is given here, to transform the listed data to suit his purpose. As a general approach, such a practice would present a high risk of producing misleading conclusions. The main reason for this is that the projection method of this part is based on a known and essentially constant slope of the thermal endurance relationship. However, thermal endurance characteristics related to different properties of the same material will often have different slopes. This is also the case, to a lesser but still significant degree, with regard to different end-points of the same property.

For these reasons, the application of the assessment method described herein cannot, in this report, be generally encouraged for transformations aiming at properties and end-points. Should such an approach, nevertheless, be attempted in particular cases, it should rest on a sound basis of physical evidence. For example, the shape of the property-versus-ageing-time relationship in the entire temperature range of interest should be known if the purpose of the assessment were to be a different end-point of the same property. Additional reliable evidence would be required before estimations of the deterioration of a different property could even be considered.

From the purely formal point of view, estimations as discussed here could, if justifiable, be carried out using equation (4).

## ANNEXE A

### A1. Observations concernant $p$ et ses composantes

$p_i$  est la série des composantes de  $p$ .

$p_1$  est la première composante de la série  $p_i$ , qui convient lorsque l'on pense qu'une projection linéaire à partir de la relation d'endurance thermique est justifiée.

$p_2$  fournit une marge de sécurité, comme expliqué à l'article A3 ci-dessous.

### A2. Projections supérieures à deux fois l'IDC

Pour  $p > 2$ , en raison de la variation de l'IDC avec la température suivant une relation linéaire d'endurance thermique (voir la quatrième édition de la Publication 216-1 de la CEI), la VTP doit être déterminée au moyen de la relation suivante:

$$VTP = (IT + 273)^2 / [p \cdot IDC + (IT + 273)] - 273 \quad (6)$$

*Note.* – L'équation (6) est obtenue en utilisant l'IDK, c'est-à-dire l'intervalle de division par deux de l'inverse de la température thermodynamique (absolue) dans la relation d'Arrhénius, et en transformant de nouveau en température Celsius. Pour garder relativement simple l'équation (6), la transformation simplifiée  $IDC = (IT + 273)^2 \cdot IDK$  a été utilisée. Dans tous les cas pratiques, l'erreur résultante est limitée à quelques pour cent.

### A3. Marge de sécurité pour projections hors de la gamme de températures de l'essai d'endurance thermique

La première partie de la Publication 216 de la CEI spécifie une gamme de températures d'essai telles que le temps moyen ou médian jusqu'à défaillance dépasse 5000 h à la plus basse température d'exposition, et 100 h à la température la plus haute, lorsque l'on détermine l'IT. Pour l'IRT ces limites sont 2000 h et 100 h (voir la quatrième édition de la Publication 216-1 de la CEI, article 8).

En conséquence, pour choisir la valeur de  $p_2$ , on donne les recommandations suivantes:

- a) Dans l'intervalle de temps entre 5000 h (ou un autre temps donné) et 100 h si l'IT est donné, ou entre 2000 h et 100 h si l'IRT est donné, la projection est une interpolation des données d'essai et l'introduction d'une marge de sécurité n'est pas nécessaire. Cela signifie que, lorsque l'IT est donné, on pose  $p_2 = 0$  si la valeur de  $p_1$  est située entre  $-2,0$  et  $-7,644$ . Si l'IRT est donné, l'intervalle correspondant de  $p_1$  est entre  $-3,322$  et  $-7,644$ .
- b) Si  $p_1$  est supérieur à  $-2,0$  (IT) ou  $-3,322$  (IRT), et en particulier lorsque sa valeur est positive, il faudrait donner à  $p_2$  une valeur positive en rapport avec celle de  $p_1$ . Il est suggéré une valeur expérimentale de  $p_2 = 0,5$  au point de l'IT (c'est-à-dire  $p_1 = 0$ ).
- c) Une valeur de  $p_1 < -7,644$  représente une projection à un temps jusqu'au point limite inférieur à la limite de 100 h spécifiée dans la Publication 216-1 de la CEI. Une telle extrapolation à haute température impliquerait un risque considérable d'erreur due à un changement de mécanisme de vieillissement. La valeur de  $p_2$  devrait alors être choisie avec une prudence particulière.