

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE
NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
IEC STANDARD

Publication 216-3

Deuxième édition — Second edition

1980

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

Troisième partie: Méthodes statistiques

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

Part 3: Statistical methods



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe
Genève, Suisse

Révision de la présente publication

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

Les renseignements relatifs à ce travail de révision, à l'établissement des éditions révisées et aux mises à jour peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et en consultant les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Rapport d'activité de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la Publication 50 de la CEI: Vocabulaire Electrotechnique International (V.E.I.), qui est établie sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini, l'Index général étant publié séparément. Des détails complets sur le V.E.I. peuvent être obtenus sur demande.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit repris du V.E.I., soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

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

- la Publication 27 de la CEI: Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique;
- la Publication 117 de la CEI: Symboles graphiques recommandés.

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit repris des Publications 27 ou 117 de la CEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Autres publications de la CEI établies par le même Comité d'Etudes

L'attention du lecteur est attirée sur les pages 3 et 4 de la couverture, qui énumèrent les autres publications de la CEI préparées par le Comité d'Etudes qui a établi la présente publication.

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

- **IEC Bulletin**
- **Report on IEC Activities**
Published yearly
- **Catalogue of IEC Publications**
Published yearly

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC Publication 50: International Electrotechnical Vocabulary (I.E.V.), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field, the General Index being published as a separate booklet. Full details of the I.E.V. will be supplied on request.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the I.E.V. or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to:

- IEC Publication 27: Letter symbols to be used in electrical technology;
- IEC Publication 117: Recommended graphical symbols.

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC Publications 27 or 117, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Other IEC publications prepared by the same Technical Committee

The attention of readers is drawn to pages 3 and 4 of the cover, which list other IEC publications issued by the Technical Committee which has prepared the present publication.

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE
NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
IEC STANDARD

Publication 216-3

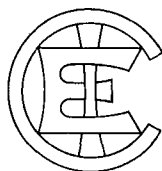
Deuxième édition — Second edition
1980

**Guide pour la détermination des propriétés d'endurance thermique
de matériaux isolants électriques**
Troisième partie: Méthodes statistiques

**Guide for the determination of thermal endurance properties
of electrical insulating materials**
Part 3: Statistical methods

Mots clés: matériaux isolants;
essais d'endurance thermique;
statistique mathématique.

Key words: insulating materials;
thermal endurance tests;
statistical mathematics.



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 par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

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

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe
Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
INTRODUCTION	6
Articles	
1. Domaine d'application	6
2. Objet	6
3. Méthodes statistiques	10
4. Mesures non destructives et essais d'épreuve	12
5. Mesures destructives	22
ANNEXE A — Fractiles d'ordre 0,95 des lois de χ^2 , de t et de F	28
ANNEXE B — Organigramme de la méthode statistique	30
ANNEXE C — Liste des symboles	32
FIGURES	36

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
INTRODUCTION	7
Clause	
1. Scope	7
2. Object	7
3. Statistical procedures	11
4. Non-destructive measurements and proof tests	13
5. Destructive measurements	23
APPENDIX A — 0.95 fractiles of the χ^2 , t , and F distributions	29
APPENDIX B — Flow diagram of statistical procedure	31
APPENDIX C — List of symbols	33
FIGURES	36

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

Troisième partie: Méthodes statistiques

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

La présente norme a été établie par le Sous-Comité 15B: Essais d'endurance, du Comité d'Etudes N° 15 de la CEI: Matériaux isolants. Il constitue la troisième partie de la deuxième édition de la Publication 216 de la CEI, qui est publiée en plusieurs parties.

Des projets furent discutés lors des réunions tenues à Zurich en 1973 et à Toronto en 1976. A la suite de cette dernière réunion, un projet, document 15B(Bureau Central)36, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en mai 1977.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

Afrique du Sud (République d')
Allemagne
Autriche
Belgique
Canada
Danemark
Egypte
Espagne
Finlande
France
Norvège

Portugal
Roumanie
Royaume-Uni
Suède
Suisse
Tchécoslovaquie
Turquie
Union des Républiques
Socialistes Soviétiques
Yougoslavie

Autres publications de la CEI citées dans la présente publication:

- Publications Nos 216-1: Guide pour la détermination des propriétés d'endurance thermique de matériaux isolants électriques, Première partie: Méthodes générales pour la détermination des propriétés d'endurance thermique, des indices de température et des profils d'endurance thermique.
- 216-2: Liste des matériaux et des essais existants.
- 493-1: Guide pour l'analyse statistique de données d'essais de vieillissement, Première partie: Méthodes basées sur les valeurs moyennes de résultats d'essais normalement distribués.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

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

Part 3: Statistical methods

FOREWORD

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

PREFACE

This standard has been prepared by Sub-Committee 15B: Endurance Tests, of IEC Technical Committee No. 15: Insulating Materials. It constitutes Part 3 of the second edition of IEC Publication 216, which is published in several parts.

Drafts were discussed at the meetings held in Zurich in 1973 and in Toronto in 1976. As a result of this last meeting, a draft, Document 15B(Central Office)36, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in May 1977.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Austria	Romania
Belgium	South Africa (Republic of)
Canada	Spain
Czechoslovakia	Sweden
Denmark	Switzerland
Egypt	Turkey
Finland	Union of Soviet
France	Socialist Republics
Germany	United Kingdom
Norway	Yugoslavia
Portugal	

Other IEC publications quoted in this publication:

- Publications Nos. 216-1: Guide for the Determination of Thermal Endurance Properties of Electrical Insulating Materials, Part 1: General Procedures for the Determination of Thermal Endurance Properties, Temperature Indices and Thermal Endurance Profiles.
- 216-2: Part 2: List of Materials and Available Tests.
- 493-1: Guide for the Statistical Analysis of Ageing Test Data, Part 1: Methods Based on Mean Values of Normally Distributed Test Results.

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

Troisième partie: Méthodes statistiques

INTRODUCTION

La deuxième édition de la Publication 216 de la CIE: Guide pour la préparation des propriétés d'endurance thermique de matériaux isolants électriques, comporte plusieurs parties:

- Première partie: Méthodes générales pour la détermination des propriétés d'endurance thermique, des indices de température et des profils d'endurance thermique.
- Deuxième partie: Liste des matériaux et des essais existants.
- Troisième partie: Méthodes statistiques.
- Quatrième partie: Instructions pour le calcul du profil d'endurance thermique.
- Cinquième partie: Instructions pour les essais d'endurance thermique et le calcul de l'indice de température (à l'étude).
- Sixième partie: Procédures de détermination des indices de température relatifs (à l'étude).

1. Domaine d'application

Cette troisième partie définit les méthodes statistiques pour la détermination du graphique d'endurance thermique et du profil d'endurance thermique des matériaux isolants électriques ainsi que de l'indice de température dans le cas prévu au paragraphe 11.2 de la Publication 216-1 de la CIE.

2. Objet

Les méthodes décrites dans cette troisième partie s'appliquent à la détermination des propriétés d'endurance thermique des matériaux isolants électriques suivant les Publications 216-1 et 216-2 de la CIE.

La signification des méthodes et du test statistiques, employés ci-après, est expliquée dans la Publication 493-1 de la CIE: Guide pour l'analyse statistique de données d'essais de vieillissement, Première partie: Méthodes basées sur les valeurs moyennes de résultats d'essais normalement distribués, auquel le lecteur doit se reporter pour les détails des méthodes et des formules plus complètes.

Le graphique d'endurance thermique d'un matériau isolant électrique est un graphique montrant la façon dont une propriété choisie du matériau dépend de la température, établi à partir d'essais spécifiés pendant ou après exposition à différentes températures.

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

Part 3: Statistical methods

INTRODUCTION

The second edition of IEC Publication 216, Guide for the Determination of Thermal Endurance Properties of Electrical Insulating Materials, is composed of several parts:

- Part 1: General Procedures for the Determination of Thermal Endurance Properties, Temperature Indices and Thermal Endurance Profiles.
- Part 2: List of Materials and Available Tests.
- Part 3: Statistical Methods.
- Part 4: Instructions for Calculating the Thermal Endurance Profile.
- Part 5: Instructions for Making Thermal Endurance Tests and Obtaining the Temperature Index. (Under consideration.)
- Part 6: Procedures for the Determination of Relative Temperature Indices. (Under consideration.)

1. Scope

This Part 3 gives statistical methods for the determination of the thermal endurance graph and the thermal endurance profile of electrical insulating materials, as well as the temperature index in the case provided for in Sub-clause 11.2 of IEC Publication 216-1.

2. Object

The procedures described in this Part 3 apply to the determination of the thermal endurance properties of electrical insulating materials according to IEC Publications 216-1 and 216-2.

The significance of the methods and the statistical test used in the following is explained in IEC Publication 493-1, Guide for the Statistical Analysis of Ageing Test Data, Part 1: Methods Based on Mean Values of Normally Distributed Test Results, to which the reader is referred for particulars on the methods and more comprehensive formulae.

The thermal endurance graph of an electrical insulating material is a graph showing the dependence on temperature of a selected property of the material, based on specified tests during or after exposure to different temperatures.

L'indice de température, selon la définition de l'article 11 de la Publication 216-1 de la CEI, est le nombre égal à la température, exprimée en degrés Celsius, qui correspond sur le graphique d'endurance thermique à un temps donné, normalement égal à 20 000 h.

Le profil d'endurance thermique, selon la définition de l'article 11 de la Publication 216-1 de la CEI, se compose de deux nombres égaux aux températures, exprimées en degrés Celsius, qui correspondent sur le graphique d'endurance thermique à 20 000 h et 5 000 h; ces deux nombres sont suivis d'un nombre correspondant à la limite inférieure de confiance à 95% sur la température au niveau de 5 000 h.

La détermination de la limite de confiance nécessite le traitement statistique des résultats des essais d'endurance thermique. Les formules pour ce traitement statistique sont indiquées ci-après.

Les données expérimentales à traiter statistiquement pour obtenir les propriétés d'endurance thermique sont les temps jusqu'à dégradation, par exemple les temps nécessaires pour atteindre un critère de dégradation spécifié par suite du traitement de vieillissement thermique d'un certain nombre d'éprouvettes à différentes températures de vieillissement.

Le traitement statistique des données d'essais, indiqué ci-dessous, se fonde sur l'hypothèse de l'existence d'une relation linéaire entre le logarithme du temps jusqu'à dégradation et l'inverse de la température thermodynamique (absolue), ce qui est par exemple le cas quand la dégradation est due à une réaction chimique du premier ordre et suit en conséquence la loi d'Arrhenius. Etant donné que des modifications du mécanisme de vieillissement avec la température peuvent infirmer cette hypothèse en dehors de la gamme des températures d'exposition, même si on ne peut le détecter dans cette gamme, on doit choisir la plus basse température d'exposition de façon à obtenir un temps moyen jusqu'à dégradation d'au moins 5 000 h, et l'extrapolation nécessaire pour établir le profil d'endurance thermique ou l'indice de température ne doit pas être supérieure à 25 °C.

Lorsque les valeurs mesurées montrent manifestement qu'une telle relation linéaire n'existe pas, on ne doit pas faire d'extrapolation. Les courbes représentant la propriété essayée en fonction du temps aux différentes températures d'exposition peuvent donner, en pareil cas, de précieuses indications, mais on ne peut déduire un indice de température qu'après des essais à une température d'exposition donnant un temps moyen jusqu'à dégradation d'au moins 20 000 h.

Le nombre d'éprouvettes exposées à chaque température a une grande influence sur la précision des résultats d'essais. Si l'on peut prévoir la dispersion probable des résultats d'essais, il est possible de calculer le nombre d'éprouvettes nécessaires pour obtenir un degré acceptable de confiance dans les résultats; dans le cas contraire, on peut se guider sur les résultats d'essais préliminaires.

Si l'on se doute que des résultats d'essai extrêmes et isolés n'appartiennent pas à la population, on peut les éliminer en tant qu'aberrants par des méthodes statistiques, mais seulement après avoir examiné soigneusement les circonstances de l'essai, et leur valeur doit être notée dans le procès-verbal. En pareil cas, le nombre de résultats d'essai aux diverses températures d'exposition sera en général différent.

Les méthodes de traitement des données dépendent jusqu'à un certain point du mode opératoire. Il convient de distinguer les cas suivants:

- a. Méthode de vieillissement.
 - a.1 Vieillissement continu.
 - a.2 Vieillissement par cycles.

The temperature index as defined in Clause 11 of IEC Publication 216-1, consists of the number corresponding to the temperature in degrees Celsius derived from the thermal endurance graph at one given time, normally 20 000 h.

The thermal endurance profile as defined in Clause 11 of IEC Publication 216-1, consists of two numbers corresponding to the temperatures in degrees Celsius derived from the thermal endurance graph at 20 000 h and 5 000 h, followed by a number corresponding to the lower 95% confidence limit on the temperature at 5 000 h.

The determination of the confidence limit necessitates a statistical treatment of the results of the thermal endurance tests. Formulae for this statistical treatment are given in the following.

The experimental data which are to be treated statistically in order to obtain the thermal endurance properties are the times to failure, for example the times to reach a specified end point as a result of a thermal ageing treatment of a number of specimens at different ageing temperatures.

The statistical treatment of the test data given below is based on the assumption that a linear relationship exists between the logarithm of the time to failure and the reciprocal of the thermodynamic (absolute) temperature, which, for example, is the case when the degradation is due to a first order chemical reaction and thus obeys Arrhenius' law. Since changes in the ageing mechanism with temperature may invalidate this assumption outside the range covered by the exposure temperatures, even if not detectable within this range, the lowest exposure temperature should be chosen to result in an average time to failure of at least 5 000 h, and the extrapolation necessary to establish the thermal endurance profile or the temperature index should be not more than 25 °C.

In cases where the measured values clearly indicate that such a linear relationship does not exist, no extrapolation should be made. Curves of the property tested versus time at the different exposure temperatures may give valuable information in such cases, but a temperature index may only be derived after tests with an exposure temperature giving an average time to failure of at least 20 000 h.

The number of specimens exposed at each temperature has a great influence on the accuracy of the test results. If the probable spread in the test results can be anticipated, it is possible to calculate the number of specimens necessary to obtain an acceptable confidence in the results, otherwise guidance may be obtained from preliminary tests.

If suspicion arises that isolated extreme test results do not belong to the population, these may be sorted out as outliers by statistical methods, but only after careful examination of the circumstances of the test, and their value should be noted in the report. In such cases the number of test results at the various exposure temperatures will usually be different.

The methods for treating the data depend to some degree on the experimental procedure. The following cases should be distinguished:

- a. Ageing procedure.
 - a.1 Continuous.
 - a.2 Cyclic.

- b. Evaluation de l'état des éprouvettes.
 - b.1 Mesure non destructive de la ou des propriétés.
 - b.1.1 Contrôle continu.
 - b.1.2 Mesures périodiques.
 - b.2 Application périodique d'une contrainte d'essai spécifiée (essais d'épreuves).
 - b.3 Détermination destructive d'une propriété.

La méthode b.1 peut être appliquée en combinaison avec la méthode a.1 (vieillessement continu) ou la méthode a.2 (vieillessement par cycles), auquel cas les cycles peuvent avoir par exemple pour objet d'exposer les éprouvettes à des chocs thermiques définis au cours du vieillissement. Si les mesures sont enregistrées sans interruption ou par des relevés fréquents (b.1.1), les temps jusqu'à dégradation sont obtenus directement au vu des valeurs enregistrées et, si l'on procède à des mesures périodiques (b.1.2), ils s'obtiennent par interpolation sur les graphiques de la propriété en fonction du temps (voir paragraphe 4.1). Dans les deux cas, le temps jusqu'à dégradation est déterminé pour chaque éprouvette individuelle en tant que variable continue et la vitesse de variation de la propriété ressort des mesures, ce qui n'est pas le cas quand on applique les méthodes b.2 et b.3. L'évaluation des résultats est décrite à l'article 4.

La méthode b.2 est appliquée le plus souvent en association avec la méthode a.2 (vieillessement par cycles). L'essai d'épreuve permet de déterminer si la propriété essayée d'une éprouvette reste ou non dans les limites de la contrainte d'épreuve (critère de dégradation). Si on exécute l'épreuve, par exemple à la fin de chaque cycle de vieillissement, le temps jusqu'à dégradation est défini comme le point milieu d'un cycle et est ainsi une variable discontinue (voir paragraphe 4.1). Comme l'essai ne fait pas apparaître la variation de la propriété au cours du temps, cette méthode est moins riche en enseignements que la méthode b.1. La méthode statistique pour obtenir le profil d'endurance thermique est analogue à celle appliquée dans le cas b.1 et est décrite à l'article 4.

On peut appliquer la méthode b.3 avec la méthode a.1 ou a.2. On examine un nombre prédéterminé d'éprouvettes, puis on les rejette, après chaque mesure. Comme les valeurs de la propriété aux différents instants de mesure sont déterminées sur des éprouvettes différentes, la méthode est plus sensible aux inégalités entre éprouvettes que les méthodes ci-dessus. Il n'est pas possible d'obtenir un temps jusqu'à dégradation pour les éprouvettes individuelles, mais les résultats indiquent la tendance générale de la propriété en fonction du temps et un temps moyen jusqu'à dégradation à chaque température de vieillissement. Les méthodes statistiques pour obtenir le profil d'endurance thermique dans ce cas sont étudiées à l'article 5.

Un schéma fonctionnel montrant les principales phases de la méthode statistique et les décisions à prendre est donné dans l'annexe B.

3. Méthodes statistiques

3.1 Les méthodes statistiques en question comprennent les phases suivantes:

- 1) Détermination des temps jusqu'à dégradation.
- 2) Calcul des coefficients a et b de l'équation linéaire de régression, $y = a + bx$, du logarithme du temps jusqu'à dégradation ($y = \lg t$), en fonction de l'inverse de la température thermodynamique ($x = 1/\theta$).
- 3) Tracé du graphique d'endurance thermique.
- 4) Détermination de l'indice de température (s'il y a lieu).
- 5) Contrôle de l'égalité des variances du logarithme des temps jusqu'à dégradation aux différentes températures de vieillissement.