

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

**CEI
IEC**
216-3-1

Troisième édition
Third edition
1990-08

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

Troisième partie:

Instructions pour le calcul des caractéristiques
d'endurance thermique

Section 1 — Calculs basés sur les valeurs
moyennes des résultats complets normalement
distribués

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

Part 3:

Instructions for calculating thermal endurance
characteristics

Section 1 — Calculations using mean values of
normally distributed complete data



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 216-3-1: 1990

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**
- **Annuaire de la CEI**
- **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 (VEI), 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 VEI peuvent être obtenus sur demande.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit repris du VEI, 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 617 de la CEI: Symboles graphiques pour schémas.

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit repris des Publications 27 ou 617 de la CEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même Comité d'Etudes

L'attention du lecteur est attirée sur le deuxième feuillet de la couverture, qui énumère les 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**
- **IEC Yearbook**
- **Catalogue of IEC Publications**
Published yearly

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC Publication 50: International Electrotechnical Vocabulary (IEV), 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 IEV will be supplied on request.

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

Graphical and letter symbols

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

- IEC Publication 27: Letter symbols to be used in electrical technology;
- IEC Publication 617: Graphical symbols for diagrams.

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC Publications 27 or 617, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

IEC publications prepared by the same Technical Committee

The attention of readers is drawn to the back cover, which lists IEC publications issued by the Technical Committee which has prepared the present publication.

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC
216-3-1

Troisième édition
Third edition
1990-08

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

Troisième partie:

Instructions pour le calcul des caractéristiques
d'endurance thermique

Section 1 — Calculs basés sur les valeurs
moyennes des résultats complets normalement
distribués

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

Part 3:

Instructions for calculating thermal endurance
characteristics

Section 1 — Calculations using mean values of
normally distributed complete data

© CEI 1990 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

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

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

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
INTRODUCTION	6
Articles	
1. Domaine d'application et objet	6
2. Principes de calcul	8
3. Instructions à suivre pour déduire les indices d'endurance thermique	12
FIGURES	24
ANNEXE A — Liste des symboles	
ANNEXE A — Liste des symboles	28
ANNEXE B — Exemple développé	32
ANNEXE C — Fractiles des lois de χ^2 , de t et de F	36
ANNEXE D — Programme BASIC pour endurance thermique	38

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
INTRODUCTION	7
Clause	
1. Scope and object	7
2. Calculation principles	9
3. Instructions for deriving thermal endurance indices	13
FIGURES	25
APPENDIX A — List of symbols	29
APPENDIX B — Worked example	33
APPENDIX C — Fractiles of the χ^2 , t and F distributions	37
APPENDIX D — BASIC program for thermal endurance	39

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

**Troisième partie: Instructions pour le calcul des caractéristiques d'endurance
thermique**

**Section 1 — Calculs basés sur les valeurs moyennes des résultats complets
normalement distribués**

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 préparée par le Sous-Comité 15B: Essais d'endurance, du Comité d'Etudes n° 15 de la CEI: Matériaux isolants.

Cette troisième édition remplace les Publications 216-3 (1980) et 216-4 (1980) de la CEI.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
15B(BC)73	15B(BC)83

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

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'essai.
- 216-2 (1990): Deuxième partie: Choix de critères d'essai.
- 216-3-2: Troisième partie: Instructions pour le calcul des caractéristiques d'endurance thermique, Section 2 — Procédures de calcul pour les résultats normalement distribués provenant d'essais destructifs. (A l'étude.)
- 493: Guide pour l'analyse statistique de données d'essais de vieillissement.
- 493-1 (1974): Première partie: Méthodes basées sur les valeurs moyennes de résultats d'essais normalement distribués.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

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

Part 3: Instructions for calculating thermal endurance characteristics

Section 1 — Calculations using mean values of normally distributed complete data

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.

This third edition replaces IEC Publications 216-3 (1980) and 216-4 (1980).

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

Six Months' Rule	Report on Voting
15B(CO)73	15B(CO)83

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

Other IEC Publications 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. |
| | 216-2 (1990): Part 2: Choice of test criteria. |
| | 216-3-2: Part 3: Instructions for calculating thermal endurance characteristics, Section 2 — Calculation procedures for normally distributed results from destructive test procedures. (Under consideration.) |
| | 493: Guide for the statistical analysis of ageing test data. |
| | 493-1 (1974): 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: Instructions pour le calcul des caractéristiques d'endurance thermique

Section 1 — Calculs basés sur les valeurs moyennes des résultats complets normalement distribués

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).

La présente partie se compose de quatre sections basées sur les valeurs moyennes de résultats d'essais normalement distribués. Des sections supplémentaires pourront y être ajoutées pour prendre en compte d'autres procédures statistiques, par exemple: statistiques sur les valeurs extrêmes pour les cas où le traitement par valeurs moyennes est inadéquat. Cependant, l'expérience acquise à ce jour est insuffisante pour permettre l'utilisation de ces méthodes pour l'élaboration de normes d'endurance thermique.

Les sections suivantes de cette troisième partie sont en préparation. Chaque section consistera exclusivement en instructions de calcul. On trouvera la théorie statistique correspondante dans la partie appropriée de la Publication 493 de la CEI.

Section 2: Procédures de calcul pour les résultats normalement distribués provenant d'essais destructifs (Publication 216-3-2 de la CEI).

Section 3: Calculs applicables aux résultats incomplets. Résultats des essais d'épreuve de durée inférieure ou égale au temps médian pour atteindre le point limite (groupes d'essais égaux) (Publication 216-3-3 de la CEI).

Section 4: Calculs applicables aux indices relatifs de température (Publication 216-3-4 de la CEI).

1. Domaine d'application et objet

La présente partie de la Publication 216 de la CEI donne les instructions applicables au calcul des caractéristiques d'endurance thermique à partir des résultats obtenus conformément aux Publications 216-1 et 216-2 de la CEI.

La section 1 donne le schéma des étapes essentielles du calcul pour des résultats complets normalement distribués, conformément aux principes statistiques formulés dans la

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

Part 3: Instructions for calculating thermal endurance characteristics

Section 1 — Calculations using mean values of normally distributed complete data

INTRODUCTION

IEC 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).

This Part consists of four sections based upon mean values of normally distributed test results. Further sections may be added to take account of other statistical procedures, for example extreme value statistics for those cases where mean value treatments are inadequate. However, there is at present insufficient experience to enable these methods to be used in thermal endurance standards.

The following sections of Part 3 are in preparation. Each section will consist exclusively of calculation instructions. The relevant statistical theory will be found in the appropriate part of IEC Publication 493.

Section 2: Calculation procedures for normally distributed results from destructive test procedures (IEC Publication 216-3-2).

Section 3: Calculations for incomplete data: proof test results up to and including the median time to end-point (equal test groups) (IEC Publication 216-3-3).

Section 4: Calculations for relative temperature indices (IEC Publication 216-3-4).

1. Scope and object

This part of IEC Publication 216 gives instructions for calculation of thermal endurance characteristics from data obtained in accordance with IEC Publications 216-1 and 216-2.

Section 1 gives the main sequence calculation scheme for complete normally distributed data, in accordance with the statistical principles set out in IEC Publication 493-1, to which

Publication 493-1 de la CEI, auxquels il convient de se référer pour plus de détails concernant les bases mathématiques. Une déduction graphique est également incluse.

Des exemples développés, un programme informatique écrit en «BASIC» et des tableaux statistiques appropriés sont donnés dans les annexes.

2. Principes de calcul

2.1 Principes statistiques

Les procédures de calcul et les instructions données à l'article 3 sont basées sur les principes et hypothèses formulés dans la Publication 493-1 de la CEI. Les hypothèses faites peuvent être exprimées sous une forme simple comme suit (voir Publication 493-1 de la CEI, paragraphe 3.7.1):

- 1) La relation entre la moyenne des logarithmes des temps nécessaires pour atteindre un point limite (temps moyen jusqu'au point limite) et l'inverse de la température thermodynamique (absolue) de vieillissement est linéaire.
- 2) Les valeurs des écarts des logarithmes des temps jusqu'au point limite par rapport à cette relation linéaire sont distribuées normalement avec une variance qui est indépendante de la température de vieillissement.

Les meilleures estimations des coefficients de la relation linéaire sont obtenues par la méthode des moindres carrés, et les limites de confiance associées à une estimation qui utilise cette relation linéaire sont obtenues à l'aide des méthodes d'analyse de régression généralisée.

2.2 Données d'analyse

- 2.2.1 Les données expérimentales sont obtenues sous forme de valeurs de température ($\theta^\circ\text{C}$) et de temps jusqu'au point limite (t heures). Chaque valeur est transformée en valeur x ou y :

$$x_i = 1 / (\theta_i + 273) \text{ valeur (i) de l'inverse de la température thermodynamique (absolue)}$$

$$y_{ij} = \log(t_{ij}) \text{ log de la valeur (j) du temps dans le i-ième groupe de vieillissement (i)}$$

$$n_i = \text{nombre de valeurs } y \text{ dans le groupe (i)}$$

$$k = \text{nombre de groupes}$$

Dans la plupart des cas, le nombre d'éprouvettes à chaque température d'essai sera identique, mais, même si on envisage l'essai d'endurance avec des nombres n_i différents de valeurs y dans les groupes de température, l'analyse peut être exécutée comme indiqué dans ce qui suit.

En général, le temps jusqu'au point limite doit être déterminé pour toutes les éprouvettes de manière que toutes les valeurs y_{ij} existent, faute de quoi l'analyse suivante n'est pas valable. Dans les cas exceptionnels où une ou plusieurs valeurs y sont absentes pour des raisons fortuites, c'est-à-dire indépendamment du temps jusqu'au point limite de l'éprouvette, par exemple dans le cas d'une éprouvette endommagée en cours de manipulation, il est permis d'effectuer l'analyse, mais l'incident doit en principe être mentionné dans le compte rendu d'essai.

* En principe, les calculs peuvent être faits à l'aide des logarithmes népériens (base e) ou décimaux (base 10), pour autant que le choix reste le même pendant toute la durée des calculs. Pour cette raison, le symbole $\log(y)$ est toujours utilisé, sauf dans le paragraphe 3.1.4.

Afin de permettre à certains résultats intermédiaires d'être comparables à ceux de la deuxième édition de la Publication 216 de la CEI, le programme informatique (annexe D) utilise les logarithmes à base 10.

reference should be made for the mathematical background details. A graphical derivation is also included.

Worked examples, a computer program written in “BASIC” and appropriate statistical tables are given in the appendices.

2. Calculation principles

2.1 Statistical principles

The calculation procedures and instructions given in Clause 3 are based upon the principles and assumptions set out in IEC Publication 493-1. The assumptions made may be expressed in simple form as follows (see IEC Publication 493-1, Sub-clause 3.7.1):

- 1) The relation between the mean of the logarithms of the times taken to reach a given end-point (“mean time to end-point”) and the reciprocal thermodynamic (absolute) ageing temperature is linear.
- 2) The values of the deviations of the logarithms of the times to end-point from this linear relation are normally distributed with a variance which is independent of the ageing temperature.

The best estimates of the coefficients of the linear relationship are obtained by the method of least squares, and the confidence limits associated with an estimate using this linear relationship are obtained by using the methods of generalized regression analysis.

2.2 Data for analysis

2.2.1 The experimental data are obtained as values of temperature ($^{\circ}\text{C}$) and time to end-point (t hours). Each value is transformed to an x or y value.

$x_i = 1 / (\vartheta_i + 273)$ value (i) of reciprocal thermodynamic (absolute) temperature

$y_{ij} = \log(t_{ij})$ * log of value (j) of time in i'th ageing group (i)

n_i = number of y values in group (i)

k = number of groups

In most cases the number of test specimens at each test temperature is identical, but even if the endurance test is planned with different numbers n_i of y values in the temperature groups, the analysis can be carried out as described below.

In general, the time to end-point shall be determined for all specimens so that all y_{ij} values are available, otherwise the following analysis is not valid. In exceptional cases where one or a few y values are missing for chance reasons, that is, independently of the time to end-point of the specimen, for instance in the case where a specimen is spoiled during handling, it is permissible to carry out the analysis, but the incident should be mentioned in the test report.

* In principle, calculations may be made using Napierian (base e) or Briggsian (base 10) logarithms, as long as the choice is consistent throughout. For this reason, the symbol $\log(y)$ is used throughout, except in Sub-clause 3.1.4.

In order to enable some intermediate results to be comparable with those of the second edition of IEC Publication 216, the computer program (Appendix D) uses logarithms to base 10.

Les valeurs de t_{ij} sont obtenues par observation directe dans le cas des essais non destructifs ou des épreuves. Dans le cas des essais destructifs, ces valeurs sont estimées par les procédures données dans la Publication 216-3-2 de la CEI.

- 2.2.2 Les résultats à utiliser dans les calculs communs sont dérivés des résultats d'origine comme suit.

Pour chaque groupe de valeurs y , la moyenne $\bar{y}_i$, et la variance s_{ii}^2 sont calculées

$$\bar{y}_i = \sum_{j=1}^{n_i} y_{ij} / n_i \quad (1)$$

$$s_{ii}^2 = \left(\sum_{j=1}^{n_i} y_{ij}^2 - n_i \bar{y}_i^2 \right) / (n_i - 1) \quad (2)$$

2.3 Tests statistiques

La procédure de calcul comprend trois tests.

- Test d'égalité de variance (χ^2 de Bartlett).
- Test de linéarité (F).
- Test de dispersion (intervalle de confiance).

Les tests b) et c) peuvent mettre en lumière des écarts par rapport au comportement idéal qui ont une signification statistique mais qui sont trop faibles pour avoir des conséquences pratiques sérieuses. Des procédures sont prévues qui prennent en compte ces circonstances.

2.3.1 Test χ^2 de Bartlett

Les inégalités de variance, autres que les inégalités importantes, ne sont pas considérées comme pouvant conduire à des erreurs notables, que ce soit sur l'indice de température ou sur l'intervalle de confiance. La valeur de χ^2 est calculée et si cette valeur est supérieure à celle correspondant à un niveau de signification de 0,05, les valeurs de χ^2 et son niveau de signification sont indiqués.

2.3.2 Test F de linéarité

Le rapport F est le rapport entre la variance des écarts des moyennes du groupe de vieillissement par rapport à la droite de régression (s_2^2 , voir équation (11)) et la variance au sein des groupes de vieillissement (s_1^2 , voir équation (10)). Une valeur élevée de F peut provenir soit de valeurs élevées des écarts par rapport à la droite de régression soit de valeurs faibles de la variance des données au sein des groupes.

Le rapport F est testé par rapport aux valeurs tabulées F_0 à un niveau de signification de 0,05.

Dans le cas de résultats très peu dispersés, il est possible de détecter une non-linéarité statistiquement significative mais de peu d'importance pratique.

Pour pouvoir obtenir un résultat même lorsque le test F a échoué de cette manière, il est prévu de procéder comme suit:

- Augmenter la valeur de la variance au sein des groupes de vieillissement (s_1^2) de manière que le test F donne un résultat juste acceptable, c'est-à-dire substituer à s_1^2 une valeur ajustée $(s_1^2)_a = s_1^2 (F / F_0)$; voir paragraphe 3.1.5 b).
- Utiliser cette valeur ajustée pour calculer la limite inférieure de confiance du résultat, TC_a .
- Si l'intervalle inférieur de confiance (IT- TC_a) est considéré comme acceptable (IT- $TC_a \leq 0,6$ IDC, voir paragraphe 2.3.3) la non-linéarité est considérée comme sans importance pratique.

The values of t_{ij} are obtained by direct observation in the case of non-destructive tests or proof tests. In the case of destructive tests they are estimated by the procedures given in IEC Publication 216-3-2.

2.2.2 The data to be used in the common calculation are derived from the primary data as follows.

For each group of y values, the mean, $\bar{y}_i$, and variance s_{ii}^2 are calculated

$$\bar{y}_i = \sum_{j=1}^{n_i} y_{ij} / n_i \quad (1)$$

$$s_{ii}^2 = \left(\sum_{j=1}^{n_i} y_{ij}^2 - n_i \bar{y}_i^2 \right) / (n_i - 1) \quad (2)$$

2.3 Statistical tests

Three tests are included in the calculation procedure.

- a) Variance equality (Bartlett's χ^2) test.
- b) Linearity (F) test.
- c) Dispersion (confidence interval) test.

Tests *b*) and *c*) may detect deviations from ideal behaviour which are statistically significant but which are too small to have serious practical consequences. Procedures are included to meet these circumstances.

2.3.1 Bartlett's χ^2 test

Inequalities of variance, other than major inequalities, are not considered to lead to serious errors either of temperature index or confidence interval. The value of χ^2 is calculated, and if this value is greater than that corresponding to a significance level of 0.05, the values of χ^2 and its significance level are reported.

2.3.2 *F*-test for linearity

The *F* ratio is the ratio of the variance of the deviations of the ageing group means from the regression line (s_2^2 , see equation (11)) to the variance within the ageing groups (s_1^2 , see equation (10)). A high value of *F* may result either from high values of the deviations from the regression line or from low values of the variance of data within the groups.

The *F* ratio is tested against tabulated values F_0 at a significance level of 0.05.

In the case of data of very small dispersion, it is possible for a non-linearity to be detected as statistically significant which is of little practical importance.

In order that a result may be obtained even where the *F* test has failed in this way, a procedure is included as follows:

- a) Increase the value of the variance within the ageing groups (s_1^2) so that the *F* test gives a result which is just acceptable, that is substitute s_1^2 by an adjusted value $(s_1^2)_a = s_1^2 (F/F_0)$, see Sub-clause 3.1.5 b).
- b) Use this adjusted value to calculate the lower confidence limit of the result, TC_a .
- c) If the lower confidence interval ($TI - TC_a$) is found acceptable ($TI - TC_a \leq 0.6$ HIC, see Sub-clause 2.3.3) the non-linearity is deemed to be of no practical importance.

2.3.3 Test de dispersion de résultats

Lorsque l'indice de température, sa limite inférieure de confiance et son intervalle de division par deux (IT, TC et IDC respectivement) ont été calculés, l'intervalle inférieur de confiance (IT-TC) est considéré comme acceptable si

$$IT-TC \leq 0,6 IDC$$

Dans les cas où l'intervalle inférieur de confiance dépasse 0,6 IDC à une faible marge près, tout en restant inférieur à 1,6 IDC, un résultat utilisable peut cependant être obtenu (pourvu que $F \leq F_0$) en calculant un IT_a ajusté. Celui-ci est obtenu en soustrayant de la valeur calculée de IT la quantité dont l'intervalle inférieur de confiance excède 0,6 IDC,

c'est-à-dire, si $0,6 IDC < IT-TC \leq 1,6 IDC$,

et si en même temps $F \leq F_0$

indiquer pour IT la valeur

$$IT_a = IT - [(IT - TC) - 0,6 IDC] = TC + 0,6 IDC$$

au lieu de la valeur de IT calculée à partir de l'équation de régression (voir paragraphe 3.1.7).

Si les conditions ci-dessus ne sont pas remplies, le résultat de l'essai ne peut être fourni que sous la forme $IT_g = \dots$, $IDC_g = \dots$ comme dans le paragraphe 3.2.3 (voir aussi la Publication 216-1 de la CEI, paragraphe 12.5).

3. Instructions à suivre pour déduire les indices d'endurance thermique

3.1 Déduction numérique et graphique d'endurance thermique

Les procédures de calcul décrites ici partent des valeurs de x_i , $\bar{y}_i$, s_{ii}^2 et n_i définies et déduites conformément au paragraphe 2.2. Toutes les sommations du paragraphe 3.1 sont effectuées par rapport à l'indice i sur la plage de 1 à k .

3.1.1 Moyennes générales

Calculer les valeurs de $\bar{x}$, $\bar{y}$ et N .

$$N = \sum n_i \quad (3)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum x_i n_i \quad (4)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum \bar{y}_i n_i \quad (5)$$

3.1.2 Equation de régression et graphique d'endurance thermique

Calculer les coefficients de l'équation de régression

$$y = a + bx \quad (6)$$

à l'aide des équations

$$b = \frac{\sum n_i x_i \bar{y}_i - N \bar{x} \bar{y}}{\sum n_i x_i^2 - N \bar{x}^2} \quad (7)$$

$$a = \bar{y} - b \bar{x} \quad (8)$$

2.3.3 Data dispersion test

When the temperature index, its lower confidence limit and the halving interval (TI, TC and HIC respectively) have been calculated, the lower confidence interval (TI-TC) is considered acceptable if

$$TI - TC \leq 0.6 \text{ HIC}$$

In cases where the lower confidence interval exceeds 0.6 HIC by a small margin, still being less than 1.6 HIC, a usable result may yet be obtained (provided $F \leq F_0$) by calculating an adjusted TI_a , that is to say, by subtracting from the calculated TI the amount by which the lower confidence interval exceeds 0.6 HIC,

i.e. if $0.6 \text{ HIC} < TI - TC \leq 1.6 \text{ HIC}$,

and at the same time $F \leq F_0$

report as TI the value

$$TI_a = TI - [(TI - TC) - 0.6 \text{ HIC}] = TC + 0.6 \text{ HIC}$$

instead of the value of TI calculated from the regression equation (see Sub-clause 3.1.7).

If the above conditions are not met, the test result may be reported only in the form $TI_g = \dots$, $HIC_g = \dots$ as in Sub-clause 3.2.3 (see also IEC Publication 216-1, Sub-clause 12.5).

3. Instructions for deriving thermal endurance indices

3.1 Numerical derivation and thermal endurance graph

The calculation procedures described here start from the values of x_i , $\bar{y}_i$, s_{li}^2 and n_i defined and derived as in Sub-clause 2.2. All summations in Sub-clause 3.1 are with respect to index i over the range 1 to k .

3.1.1 General means

Calculate the values of $\bar{x}$, $\bar{y}$ and N .

$$N = \sum n_i \quad (3)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum x_i n_i \quad (4)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum \bar{y}_i n_i \quad (5)$$

3.1.2 Regression equation and thermal endurance graph

Calculate the coefficients of the regression equation

$$y = a + bx \quad (6)$$

using the equations

$$b = \frac{\sum n_i x_i \bar{y}_i - N \bar{x} \bar{y}}{\sum n_i x_i^2 - N \bar{x}^2} \quad (7)$$

$$a = \bar{y} - b \bar{x} \quad (8)$$

Quand la droite de régression a été établie, on la trace sur le graphique d'endurance thermique, c'est-à-dire un graphique où $y = \log(t)$ en ordonnées, et $x = 1/(\vartheta + 273)$ en abscisses. Habituellement x est reporté par valeurs croissantes de la droite vers la gauche, et les valeurs correspondantes de ϑ en °C sont marquées sur cet axe (voir figure 1). Du papier graphique spécial peut être obtenu à cet effet.

On peut également utiliser un programme informatique qui exécute ce calcul et qui comprenne un sous-programme de tracé du graphique sur l'échelle non linéaire appropriée.

Les valeurs individuelles $y_{ij} = \log(t_{ij})$, et les valeurs moyennes $\bar{y}_i$, obtenues conformément au paragraphe 2.2.2, sont tracées sur le graphique aux valeurs correspondantes de

$$x_i = \frac{1}{\vartheta_i + 273} \quad (9)$$

Le graphique d'endurance thermique peut être complété en traçant la courbe donnant les limites de confiance inférieures à 95% (voir paragraphe 3.1.6).

3.1.3 Calculs de variance

Calculer la valeur moyenne pondérée de la variance au sein des groupes de vieillissement

$$s_1^2 = \frac{\sum (n_i - 1) s_{1i}^2}{N - k} \quad (10)$$

Calculer la variance pondérée des écarts des moyennes des groupes de vieillissement par rapport à la droite de régression

$$s_2^2 = \frac{\sum n_i (y_i - Y_i)^2}{k - 2} \quad (11)$$

où:

$$Y_i = a + bx_i \quad (12)$$

qui peut être simplifiée en

$$s_2^2 = \frac{(\sum n_i \bar{y}_i^2 - N \bar{y}^2) - b(\sum n_i x_i \bar{y}_i - N \bar{x} \bar{y})}{k - 2} \quad (13)$$

Calculer le moment centré d'ordre 2 des valeurs x

$$\mu_2(x) = \frac{\sum n_i x_i^2 - N \bar{x}^2}{N} \quad (14)$$

3.1.4 Test d'égalité des variances

Calculer la valeur de χ^2 par la méthode de Bartlett

$$\chi^2 = \frac{\ln q}{c} [(N - k) \log_q s_1^2 - \sum (n_i - 1) \log_q s_{1i}^2] \quad (15)$$

où:

$$c = 1 + \frac{\sum \left(\frac{1}{n_i - 1} \right) - \frac{1}{N - k}}{3(k - 1)} \quad (15a)$$

When the regression line has been established, it is drawn on the thermal endurance graph, i.e. a graph with $y = \log(t)$ as ordinate, and $x = 1/(\vartheta + 273)$ as abscissa. Usually x is plotted as increasing from the right to the left, and the corresponding values of ϑ in °C are marked on this axis (see Figure 1). Special graph paper is obtainable for this purpose.

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

The individual values $y_{ij} = \log(t_{ij})$, and the mean values $\bar{y}_i$, obtained as in Sub-clause 2.2.2, are plotted on the graph at the corresponding values of

$$x_i = \frac{1}{\vartheta_i + 273} \quad (9)$$

The thermal endurance graph may be completed by drawing the lower 95% confidence line (see Sub-clause 3.1.6).

3.1.3 Variance calculations

Calculate the weighted mean value of the variance within the ageing groups

$$s_1^2 = \frac{\sum (n_i - 1) s_{1i}^2}{N - k} \quad (10)$$

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

$$s_2^2 = \frac{\sum n_i (\bar{y}_i - \bar{Y})^2}{k - 2} \quad (11)$$

where:

$$\bar{Y}_i = a + b x_i \quad (12)$$

This may be simplified to

$$s_2^2 = \frac{(\sum n_i \bar{y}_i^2 - N \bar{y}^2) - b (\sum n_i x_i \bar{y}_i - N \bar{x} \bar{y})}{k - 2} \quad (13)$$

Calculate the central second moment of the x values

$$\mu_2(x) = \frac{\sum n_i x_i^2 - N \bar{x}^2}{N} \quad (14)$$

3.1.4 Test for equality of variances

Calculate the value of χ^2 by Bartlett's method

$$\chi^2 = \frac{\ln q}{c} [(N - k) \log_q s_1^2 - \sum (n_i - 1) \log_q s_{1i}^2] \quad (15)$$

where:

$$c = 1 + \frac{\sum \left(\frac{1}{n_i - 1} \right) - \frac{1}{N - k}}{3(k - 1)} \quad (15a)$$

et où $\log_q$ désigne le logarithme en base q . Si des logarithmes décimaux (base 10) sont utilisés, $\ln q \approx 2,3$; si des logarithmes népériens (base e) sont utilisés, $\ln q = 1$.

Comparer la valeur de χ^2 avec la valeur tabulée pour $f = k-1$ degrés de liberté (tableau C1, annexe C).

Si la valeur de χ^2 est supérieure à celle tabulée pour un niveau de signification de 0,05, indiquer la valeur de χ^2 et le niveau de signification tabulé pour la plus haute valeur inférieure à χ^2 . On peut également, si χ^2 et son niveau de signification sont calculés par un programme informatique, indiquer ces valeurs.

3.1.5 Test de linéarité (Test F)

La variance des écarts par rapport à la droite de régression, s_2^2 , est comparée à la variance pondérée dans les k ensembles de mesures, s_1^2 , par le test du rapport F à un niveau de signification de 0,05.

Calculer le rapport

$$F = s_2^2 / s_1^2 \quad (16)$$

et comparer sa valeur à la valeur tabulée F_0 pour $f_n = k-2$ et $f_d = N-k$ degrés de liberté (tableau C2, annexe C).

$$F_0 = F(0,95, k-2, N-k)$$

a) si $F \leq F_0$, calculer l'estimation de la variance pondérée

$$s^2 = \frac{(k-2)s_2^2 + (N-k)s_1^2}{N-2} \quad (17a)$$

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

$$s_a^2 = \frac{(k-2)s_2^2 + (N-k)(s_1^2)_a}{N-2} \quad (17b)$$

3.1.6 Limites de confiance des estimations de Y et X

a) Estimations de Y

La limite inférieure de confiance à 95% de la valeur estimée de Y correspondant à une valeur donnée X est

$$Y_c = Y - t s_Y \quad (18)$$

où $Y = a + bX$,

$$s_Y^2 = \frac{s^2}{N} \left(1 + \frac{(X - \bar{X})^2}{\mu_2(x)} \right) \quad \text{si } F \leq F_0, \text{ ou} \quad (19a)$$

$$s_Y^2 = \frac{s_a^2}{N} \left(1 + \frac{(X - \bar{X})^2}{\mu_2(x)} \right) \quad \text{si } F > F_0 \quad (19b)$$

et où t est la valeur tabulée du t de Student avec $N-2$ degrés de liberté à un niveau de confiance de 95%, $t(0,95, N-2)$ (tableau C3, annexe C).

Pour la courbe de limite de confiance du graphique d'endurance thermique (paragraphe 3.1.2), Y_c est calculé pour plusieurs paires (X, Y) de valeurs sur l'étendue de la plage d'intérêt et la courbe tracée par les points (X, Y_c) reportés sur le graphique.

and $\log_q$ designates the logarithm to base q . If Briggsian logarithms (base 10) are used, then $\ln q \approx 2.3$, if Napierian logarithms (base e) are used, then $\ln q = 1$.

Compare the value of χ^2 with the tabulated value for $f = k-1$ degrees of freedom (Table C1, Appendix C).

If the value of χ^2 is greater than that 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.

3.1.5 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 sets of measurements, s_1^2 , by the F -ratio test at a significance level of 0.05.

Calculate the ratio

$$F = s_2^2 / s_1^2 \quad (16)$$

and compare its value with the tabulated value F_0 with $f_n = k-2$ and $f_d = N-k$ degrees of freedom (Table C2, Appendix C).

$$F_0 = F(0.95, k-2, N-k)$$

a) if $F \leq F_0$, calculate the pooled variance estimate

$$s^2 = \frac{(k-2)s_2^2 + (N-k)s_1^2}{N-2} \quad (17a)$$

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

$$s_a^2 = \frac{(k-2)s_2^2 + (N-k)(s_1^2)_a}{N-2} \quad (17b)$$

3.1.6 Confidence limits of X and Y estimates

a) Y -estimates

The lower 95% confidence limit of the estimated value Y corresponding to a given value X is

$$Y_c = Y - t s_Y \quad (18)$$

where $Y = a + bX$,

$$s_Y^2 = \frac{s^2}{N} \left(1 + \frac{(X - \bar{x})^2}{\mu_2(x)} \right) \quad \text{if } F \leq F_0, \text{ or} \quad (19a)$$

$$s_Y^2 = \frac{s_a^2}{N} \left(1 + \frac{(X - \bar{x})^2}{\mu_2(x)} \right) \quad \text{if } F > F_0 \quad (19b)$$

and t is the tabulated value of Student's t with $N-2$ degrees of freedom at a confidence level of 95%, $t(0.95, N-2)$ (Table C3, Appendix C).

For the confidence limit curve of the thermal endurance graph (Sub-clause 3.1.2), Y_c is calculated for several (X, Y) pairs of values over the range of interest, and the curve drawn through the points (X, Y_c) plotted on the graph.

b) Estimations de X

La limite supérieure de confiance à 95% de la valeur de X correspondant à un temps jusqu'au point limite t_f est calculée à partir de

$$X_c = \bar{x} + \frac{(Y - \bar{y})}{b_r} + \frac{t s_r}{b_r} \quad (20)$$

$$\text{où:} \quad Y = \log(t_f) \quad (20a)$$

$$b_r = b - \frac{t^2 s^2}{N b \mu_2(x)} \quad (20b)$$

$$s_r^2 = \frac{s^2}{N} \left(\frac{b_r}{b} + \frac{(X - \bar{x})^2}{\mu_2(x)} \right) \quad (20c)$$

$$X = \frac{Y - a}{b} \quad (20d)$$

pour $F \leq F_0$. Si $F > F_0$ la valeur s_a^2 doit être mise dans les équations (20b) et (20c) à la place de s^2 .

t est la valeur tabulée du t de Student avec $N-2$ degrés de liberté à un niveau de confiance de 95%, $t(0,95, N-2)$ (tableau C3, annexe C).

La limite inférieure de confiance à 95% d'une température estimée peut être calculée à partir de X_c , la limite de confiance supérieure de l'estimation de X correspondante.

$$g_c = \frac{1}{X_c} - 273 \quad (21)$$

3.1.7 Calcul des caractéristiques d'endurance thermique

A partir de l'équation de régression (6) du paragraphe 3.1.2, calculer la température en °C correspondant à un temps jusqu'au point limite de 20 kh. C'est l'indice de température, IT.

Calculer par la même méthode la température correspondant à un temps jusqu'au point limite de 10 kh, IT_{10} . L'intervalle de division par deux, IDC, est $IT_{10} - IT$.

Calculer par la méthode du paragraphe 3.1.6 b) la limite inférieure de confiance à 95% de IT ($Y = \log[20\,000]$), TC ou TC_a si la valeur ajustée s_a^2 est utilisée.

Déterminer la valeur de $(IT - TC)/IDC$ ou $(IT - TC_a)/IDC$.

Si la valeur est $\leq 0,6$, le résultat de l'essai est présenté sous la forme IT(IDC), comme mentionné dans le paragraphe 3.1.10 (voir aussi Publication 216-1 de la CEI, article 14).

Si $0,6 < (IT - TC)/IDC \leq 1,6$, et si en même temps $F \leq F_0$ (paragraphe 3.1.5), la valeur $IT_a = TC + 0,6 IDC$ et IDC seront présentés sous la forme IT(IDC).

Dans tous les autres cas, le résultat ne peut être présenté que sous la forme $IT_g = \dots$, $IDC_g = \dots$, conformément au paragraphe 3.2.3.

3.1.8 Examen des tests statistiques et rapports

Dans le tableau I, si la condition de la colonne intitulée «Test» n'est pas remplie, les mesures à prendre sont indiquées dans la colonne finale. Si la condition est remplie, les mesures à prendre sont indiquées dans l'étape suivante. Cet ordre est également indiqué dans l'organigramme pour le calcul des caractéristiques d'endurance thermique, Figure 2.

b) *X*-estimates

The upper 95% confidence limit of the value of *X* corresponding to a time to end-point *t_f* is calculated from

$$X_c = \bar{x} + \frac{(Y - \bar{y})}{b_r} + \frac{t s_r}{b_r} \quad (20)$$

where:

$$Y = \log(t_f) \quad (20a)$$

$$b_r = b - \frac{t^2 s^2}{N b \mu_2(x)} \quad (20b)$$

$$s_r^2 = \frac{s^2}{N} \left(\frac{b_r}{b} + \frac{(X - \bar{x})^2}{\mu_2(x)} \right) \quad (20c)$$

$$X = \frac{Y - a}{b} \quad (20d)$$

for $F \leq F_0$. If $F > F_0$ the value s_a^2 shall be inserted in equations (20b) and (20c) instead of s^2 .

t is the tabulated value of Student's *t* with *N*-2 degrees of freedom at a confidence level of 95%, *t*(0.95, *N*-2) (Table C3, Appendix C).

The lower 95% confidence limit of a temperature estimate may be calculated from the upper confidence limit of the corresponding *X* estimate, X_c .

$$g_c = \frac{1}{X_c} - 273 \quad (21)$$

3.1.7 *Calculation of thermal endurance characteristics*

From the regression equation (6) in Sub-clause 3.1.2 calculate the temperature in °C corresponding to a time to end-point of 20 kh. This is the Temperature Index, *TI*.

Calculate by the same method the temperature corresponding to a time to end-point of 10 kh, *TI*₁₀. The Halving Interval, *HIC*, is *TI*₁₀ - *TI*.

Calculate by the method of Sub-clause 3.1.6 b) the lower 95% confidence limit of *TI* ($Y = \log[20\,000]$), *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*.

If this value is ≤ 0.6 , the test result is reported in the format *TI*(*HIC*) as mentioned in Sub-clause 3.1.10 (see also IEC Publication 216-1, Clause 14).

If $0.6 < (\text{TI}-\text{TC})/\text{HIC} \leq 1.6$, and at the same time $F \leq F_0$ (Sub-clause 3.1.5), the value *TI_a* = *TC* + 0.6 *HIC* together with *HIC* are reported as *TI*(*HIC*).

In all other cases the result may only be reported in the form *TI_g* = ..., *HIC_g* = ..., as in Sub-clause 3.2.3.

3.1.8 *Survey of statistical tests and reporting*

In Table I, 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 indicated at the next step. This sequence is also indicated in the Decision Flow Chart for Thermal Endurance Calculations, Figure 2.

Tableau I

Etape	Test (?) ou mesure à prendre	Voir	Mesure à prendre si NON
1	? Temps moyen le plus long jusqu'au point limite > 5 000 h	CEI Publication 216-1	Passer à l'étape 12
2	? Extrapolation* ≤ 25 K	CEI Publication 216-1	Passer à l'étape 12
3	? $P(\chi^2, f) \leq 0,05$	3.1.4	Indiquer χ^2 et P et passer à l'étape 4
4	? $F \leq F_0$	3.1.5	Ajuster $s_1^2 \rightarrow s_1^2 F/F_0$ et passer à l'étape 9
5	? $IT - TC \leq 0,6$ (IDC)	3.1.7	Passer à l'étape 7
6	Indiquer IT (IDC)		
7	? $IT - TC \leq 1,6$ (IDC)	3.1.7	Passer à l'étape 11
8	Indiquer $IT_a = TC + 0,6$ (IDC) et IDC comme IT (IDC)	2.3.3	
9	? $IT - TC_a \leq 0,6$ (IDC)	2.3.2	Passer à l'étape 11
10	Indiquer IT (IDC)		
11	Indiquer IT_g et IDC_g		
12	Tester nouveau groupe à température plus basse		

* Extrapolation = température d'essai la plus basse moins IT .

3.1.9 Précision interne des calculs

De nombreuses étapes de calcul impliquent d'effectuer des sommes de différences de nombres ou des carrés de ces différences, dans lesquels les différences peuvent être petites en comparaison des nombres. Dans ces cas, il est nécessaire que les calculs soient faits avec une précision interne de six chiffres significatifs ou plus, pour obtenir une précision du résultat de trois décimales. Du fait de la nature répétitive et fastidieuse des calculs, il est fortement recommandé de les faire à l'aide d'une calculatrice programmable ou d'un micro-ordinateur, auquel cas la précision interne de dix ou même douze décimales peut être facilement obtenue.

3.1.10 Rapport

La présentation exigée et le contenu du rapport sont donnés dans la Publication 216-1 de la CEI, article 14. Il est cependant nécessaire d'insister sur le besoin de présenter le graphique d'endurance thermique comme partie intégrante du rapport; en effet, un seul résultat numérique $IT(IDC)$ ne peut pas donner une vision qualitative globale des résultats d'essai et l'appréciation des résultats ne peut être complète sans cette vue globale.

3.2 Déduction graphique

3.2.1 Déduction totalement graphique

Lorsque le nombre de temps jusqu'au point limite aux différentes températures d'essai est approximativement le même, déduire des résultats d'essai la valeur centrale du temps jusqu'au point limite à chaque température d'essai. Reporter les valeurs de température d'essai θ_i et le temps médian jusqu'au point limite t_i sur le papier graphique spécial mentionné dans le paragraphe 3.1.2. Tracer le graphique d'endurance thermique en établissant la droite de meilleur ajustement (par des moyens visuels), et estimer l'indice de température IT_g comme

Table I

Step	Test (?) or Action	Ref.	Action if NO
1	? Longest mean time to end-point > 5 000 h	IEC Publication 216-1	Go to Step 12
2	? Extrapolation* ≤ 25 K	IEC Publication 216-1	Go to Step 12
3	? $P(\chi^2, f) \leq 0.05$	3.1.4	Report χ^2 and P and go to Step 4
4	? $F \leq F_0$	3.1.5	Adjust $s_1^2 \rightarrow s_1^2 F/F_0$ and go to Step 9
5	? $TI - TC \leq 0.6$ (HIC)	3.1.7	Go to Step 7
6	Report TI (HIC)		
7	? $TI - TC \leq 1.6$ (HIC)	3.1.7	Go to Step 11
8	Report $TI_a = TC + 0.6$ (HIC) and HIC as TI (HIC)	2.3.3	
9	? $TI - TC_a \leq 0.6$ (HIC)	2.3.2	Go to Step 11
10	Report TI (HIC)		
11	Report TI_g and HIC_g		
12	Test new group at lower temperature		

* Extrapolation = lowest test temperature minus TI .

3.1.9 Internal 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, to achieve a result precision of three digits. 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 even twelve digits is easily available.

3.1.10 Report

The required format and content of the report are given in IEC Publication 216-1, Clause 14. It is necessary, however, to emphasize the need to present the thermal endurance graph as part of the report, since a single numerical result $TI(HIC)$ cannot present an overall qualitative view of the test data, and appraisal of the data cannot be complete without this.

3.2 Graphical derivation

3.2.1 Wholly graphical derivation

When the number of times to end-point at the different test temperatures is approximately equal, derive from the test data the central value of the time to end-point at each test temperature. Plot the values of test temperature ϑ_i and median time to end-point t_i on the special graph paper referred to in Sub-clause 3.1.2. Draw the thermal endurance graph, obtaining the "best fit line" by visual means, and hence estimate the temperature index TI_g as the temperature at which the time to end-point is 20 000 h, and the halving interval HIC_g as the

étant la température à laquelle le temps jusqu'au point limite est de 20 000 h, et l'intervalle de division par deux IDC_g comme étant la différence de température $IT_{10} - IT_g$, où IT_{10} est la température à laquelle le temps jusqu'au point limite est 10 000 h.

3.2.2 *Déduction partiellement graphique*

Lorsque le nombre de temps jusqu'au point limite aux différentes températures d'essai diffère de façon appréciable (c'est-à-dire, variation supérieure à environ 20%), il est nécessaire de tenir compte des pondérations différentes des groupes de mesure.

Calculer l'équation de régression conformément aux paragraphes 3.1.1 et 3.1.2 et l'utiliser pour tracer le graphique d'endurance thermique. Sur ce graphique, indiquer les valeurs médianes des temps jusqu'au point limite et les températures d'essai.

A partir du graphique d'endurance thermique déterminer IT_g et IDC_g conformément au paragraphe 3.2.1.

3.2.3 *Rapport*

Ecrire « $IT_g =$, $IDC_g =$.»

Withdrawn
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60216-3-1:1990

temperature difference $TI_{10} - TI_g$, where TI_{10} is the temperature at which the time to end-point is 10000 h.

3.2.2 *Partially graphical derivation*

When the number of times to end-point at the different test temperatures varies appreciably (i.e. variation > about 20%), it is necessary to allow for the different weights of the measurement groups.

Calculate the regression equation as in Sub-clauses 3.1.1 and 3.1.2 and use this to draw the thermal endurance graph. On the same graph, indicate the values of the median times to end-point and test temperatures.

From the thermal endurance graph determine TI_g and HIC_g as in Sub-clause 3.2.1.

3.2.3 *Report*

Report " $TI_g =$, $HIC_g =$."

Withdrawn
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60216-3-1:1990

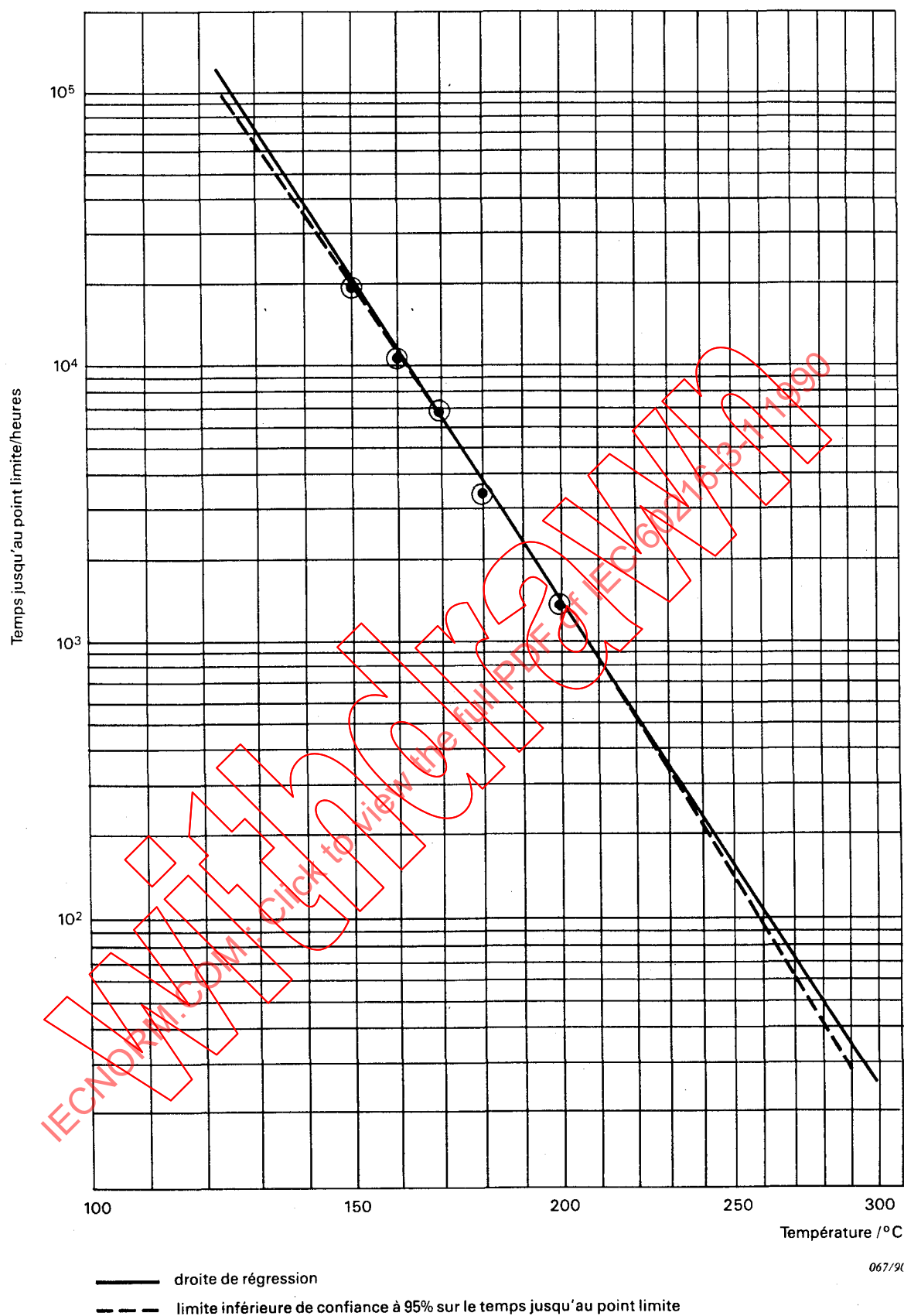


FIG. 1. — Graphique d'endurance thermique.

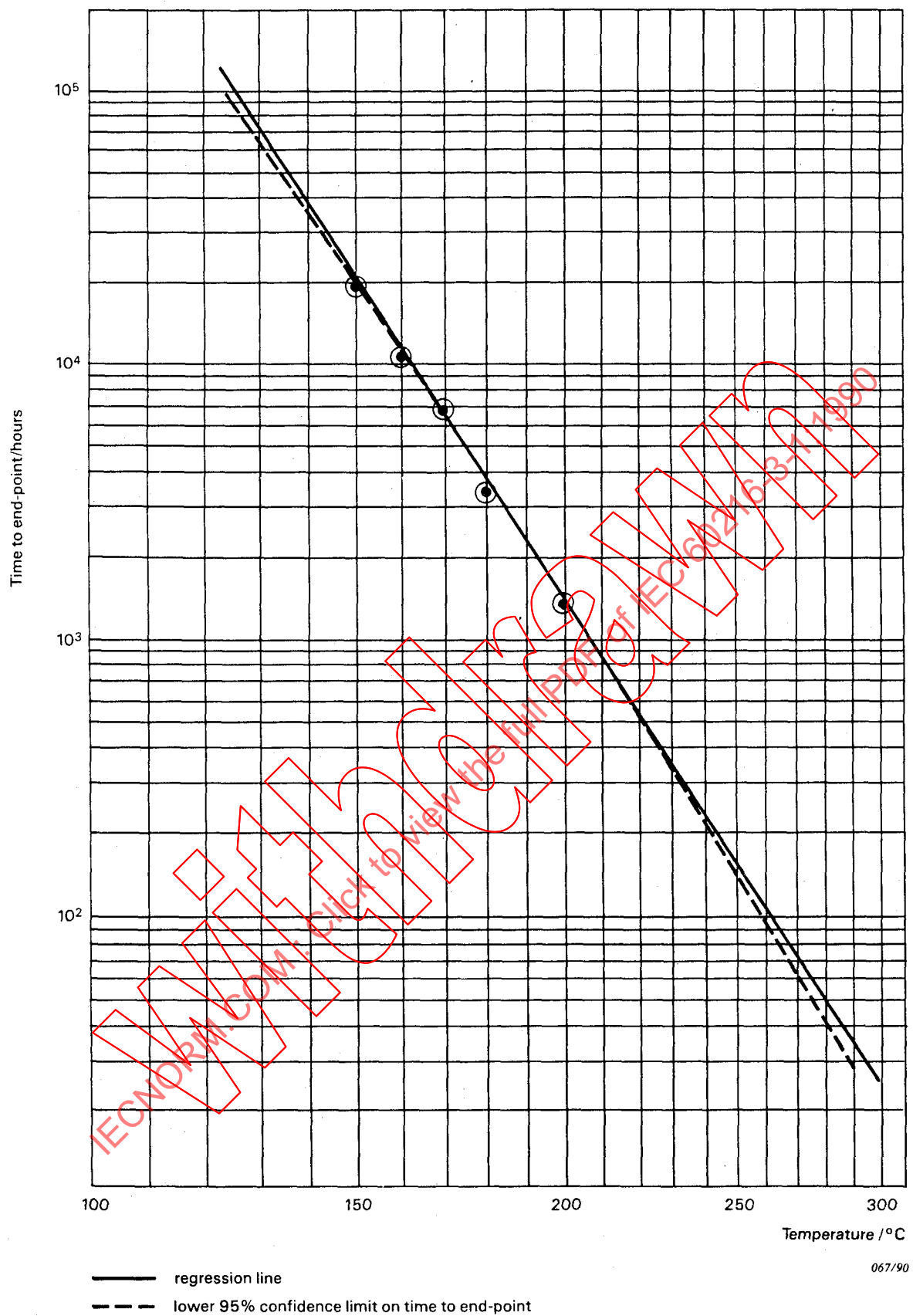


FIG. 1. — Thermal endurance graph.

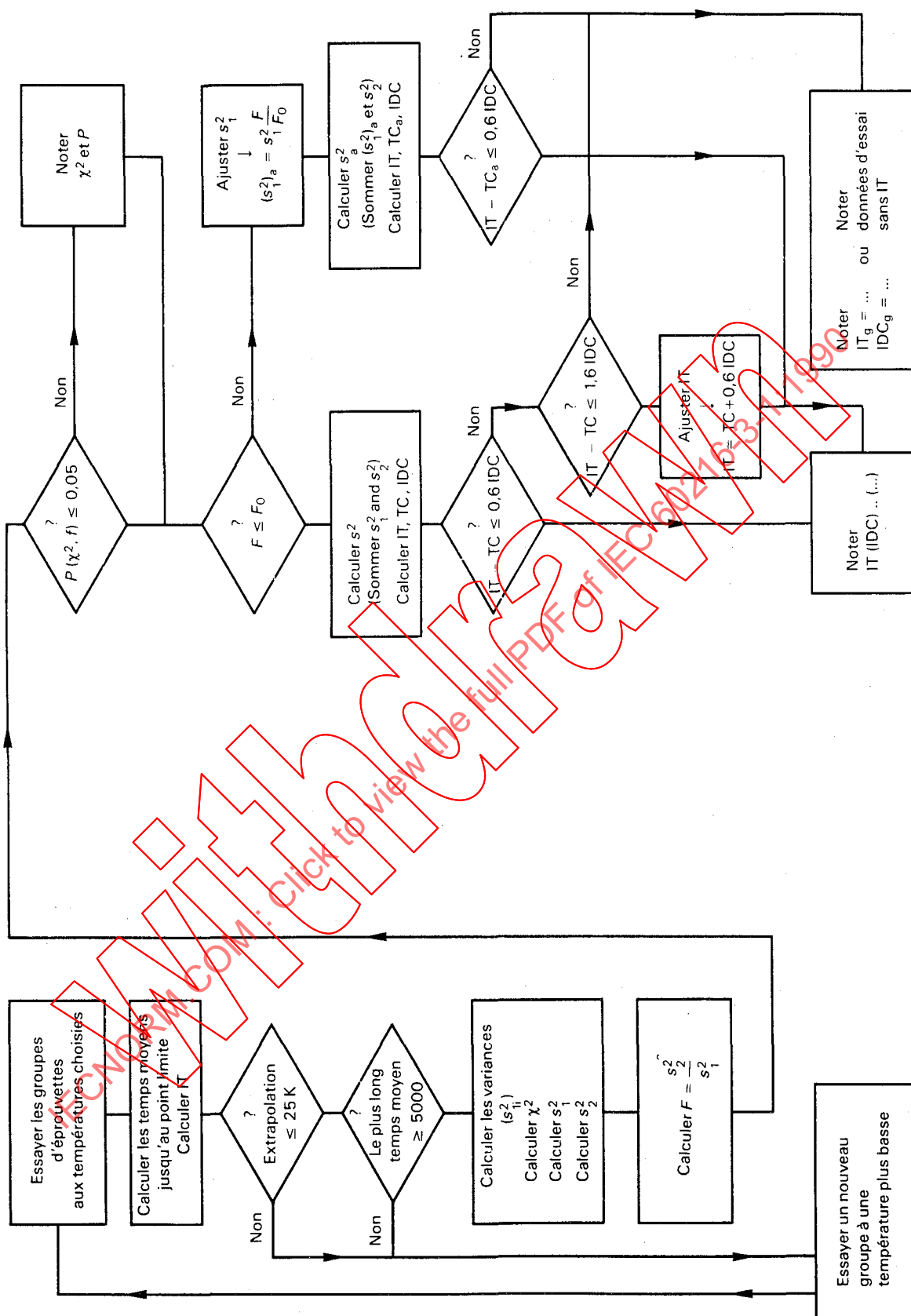


FIG. 2. — Organigramme pour le calcul des caractéristiques d'endurance thermique.

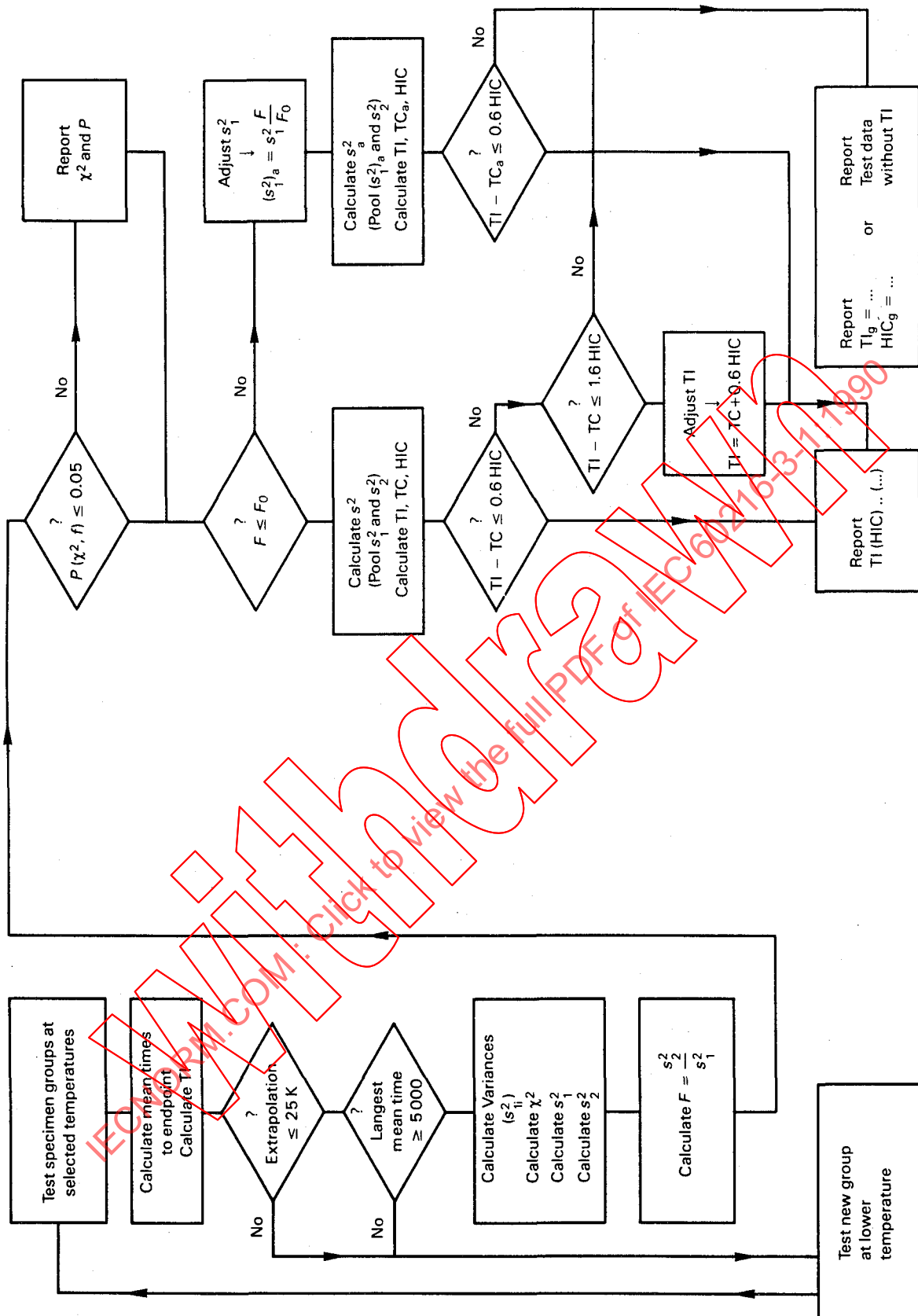


FIG. 2. — Decision flow chart for thermal endurance calculations.

ANNEXE A

LISTE DES SYMBOLES

Symboles	Paragraphes
a	Coefficient de régression 3.1.2
b	Coefficient de régression 3.1.2
b_r	Constante intermédiaire 3.1.6b)
c	Constante intermédiaire 3.1.4
f	Nombre de degrés de liberté
F	Variable aléatoire distribuée suivant la loi de Fisher 3.1.5
F_0	Valeur tabulée de F 3.1.5
IDC	Intervalle de division par deux 3.1.7
IDC _g	Intervalle de division par deux correspondant à IT _g 3.2
IT	Indice de température 3.1.7
IT _a	Valeur ajustée de IT 2.3.3
IT _g	Indice de température obtenu de façon graphique ou sans limite de confiance définie 3.2
IT ₁₀	Indice de température à 10 kh 3.1.7
i	Numéro d'ordre d'une température d'exposition 2.2
j	Numéro d'ordre du temps jusqu'au point limite 2.2
k	Nombre des températures d'exposition 2.2
$\lg x$	Logarithme de x en base 10 3.1.4
$\ln x$	Logarithme de x en base e 3.1.4
$\log x$	Logarithme de x en base non spécifiée 2.2.1
$\log_q x$	Logarithme de x en base q 3.1.4
N	Nombre total d'éprouvettes essayées 3.1.1
n_i	Nombre d'éprouvettes exposées à ϑ_i 2.2
P	Niveau de signification de χ^2 tableau C1
s^2	Estimation de la variance pondérée 3.1.5
s_a^2	Valeur ajustée de s^2 3.1.5
s_i^2	Moyenne pondérée de s_{ii}^2 3.1.3
$(s_i^2)_a$	Valeur ajustée de s_i^2 3.1.5
s_{ii}^2	Variance au sein du groupe d'éprouvettes exposées à ϑ_i 2.2.2
s_2^2	Variance par rapport à la droite de régression 3.1.3
s_r^2	Constante intermédiaire 3.1.6
s_Y^2	Variance de Y 3.1.6
t	Variable aléatoire distribuée suivant la loi de Student 3.1.6
t_f	Temps jusqu'au point limite choisi pour estimation 3.1.6
t_{ij}	Temps jusqu'au point limite de l'éprouvette n° j exposée à ϑ_i 2.2
TC	Limite inférieure unilatérale de confiance à 95% sur IT 3.1.7
TC _a	Valeur ajustée de TC 2.3.2

APPENDIX A

LIST OF SYMBOLS

Symbol		Clause
a	Regression coefficient	3.1.2
b	Regression coefficient	3.1.2
b_r	Intermediate constant	3.1.6b)
c	Intermediate constant	3.1.4
f	Number of degrees of freedom	
F	Fisher distributed stochastic variable	3.1.5
F_0	Tabulated value of F	3.1.5
HIC	Halving interval	3.1.7
HIC _g	Halving interval corresponding to TI _g	3.2
i	Order number of exposure temperature	2.2
j	Order number of time to end-point	2.2
k	Number of the exposure temperatures	2.2
$\lg x$	Logarithm of x to base 10	3.1.4
$\ln x$	Logarithm of x to base e	3.1.4
$\log x$	Logarithm of x to unspecified base	2.2.1
$\log_q x$	Logarithm of x to base q	3.1.4
N	Total number of specimens tested	3.1.1
n_i	Number of specimens exposed at θ_i	2.2
P	Significance level of χ^2	Table C1
s^2	Pooled variance estimate	3.1.5
s_a^2	Adjusted value of s^2	3.1.5
s_i^2	Weighted mean of s_{1i}^2	3.1.3
$(s_i^2)_a$	Adjusted value of s_i^2	3.1.5
s_{1i}^2	Variance within set of specimens exposed at θ_i	2.2.2
s_2^2	Variance about regression line	3.1.3
s_r^2	Intermediate constant	3.1.6
s_Y^2	Variance of Y	3.1.6
t	Student distributed stochastic variable	3.1.6
t_f	Value of time to end-point selected for estimation	3.1.6
t_{ij}	Time to end-point of j 'th specimen exposed at θ_i	2.2
TC	Lower unilateral 95% confidence limit of TI	3.1.7
TC _a	Adjusted value of TC	2.3.2
TI	Temperature index	3.1.7
TI _a	Adjusted value of TI	2.3.3
TI _g	Temperature index obtained by graphical means or without defined confidence limits	3.2
TI ₁₀	Temperature index at 10 kh	3.1.7

Symboles		Paragraphes
x	Variable indépendante: inverse de la température thermodynamique (absolue)	2.2
x_i	Inverse de la température thermodynamique correspondant à ϑ_i	2.2
$\bar{x}$	Moyenne pondérée de x_i	3.1.1
X	Valeur de x tirée de l'équation de régression pour une valeur spécifiée de y	3.1.6
X_c	Limite supérieure unilatérale de confiance à 95% sur X	3.1.6
y	Variable dépendante: logarithme du temps jusqu'au point limite	2.2
y_{ij}	Valeur de y correspondant à t_{ij}	2.2
$\bar{y}_i$	Moyenne des valeurs de y_{ij} à ϑ_i	2.2.2
$\bar{y}$	Moyenne pondérée de $\bar{y}_i$	3.1.1
Y	Valeur de y tirée de l'équation de régression pour une valeur spécifiée de x	3.1.6
Y_c	Limite inférieure unilatérale de confiance à 95% sur Y	3.1.6
Y_i	Valeur de y tirée de l'équation de régression pour $x = x_i$	3.1.3
ϑ_c	Limite inférieure unilatérale de confiance à 95% sur la température correspondant à X_c	3.1.6
ϑ_i	Température d'exposition en °C	2.2
$\mu_2(x)$	Moment centré d'ordre 2 des valeurs x	3.1.3
χ^2	Variable aléatoire distribuée suivant la loi χ^2	3.1.4

Symbol		Clause
x	Independent variable: reciprocal of thermodynamic (absolute) temperature	2.2
x_i	Reciprocal of thermodynamic temperature corresponding to ϑ_i	2.2
$\bar{x}$	Weighted mean of x_i	3.1.1
X	Value of x at specified value of y from regression equation	3.1.6
X_c	Upper unilateral 95% confidence limit on X	3.1.6
y	Dependent variable: logarithm of time to end-point	2.2
y_{ij}	Value of y corresponding to t_{ij}	2.2
$\bar{y}_i$	Mean of values of y_{ij} at ϑ_i	2.2.2
$\bar{y}$	Weighted mean of $\bar{y}_i$	3.1.1
Y	Value of y at specified value of x from regression equation	3.1.6
Y_c	Lower unilateral 95% confidence limit on Y	3.1.6
Y_i	y -value of regression equation at $x = x_i$	3.1.3
ϑ_c	Lower unilateral 95% confidence limit on temperature corresponding to X_c	3.1.6
ϑ_i	Exposure temperature in °C	2.2
$\mu_2(x)$	Central second moment of x values	3.1.3
χ^2	χ^2 distributed stochastic variable	3.1.4

ANNEXE B EXEMPLE DÉVELOPPÉ

i		1		2		3	
Nombre d'éprouvettes	n_i	5		5		5	
Température d'exposition	θ_i	220		200		180	
Température thermodynamique		493		473		453	
Variable x	$x_i \times 10^3$	2,028398		2,114165		2,2075055	
Numéro de l'éprouvette	j	t	y	t	y	t	y
	1	1 100	3,041393	3 200	3,505150	7 410	3,869818
	2	740	2,869232	2 620	3,418301	6 610	3,82021
	3	720	2,857332	2 460	3,390935	6 170	3,790285
	4	620	2,792392	2 540	3,404834	5 500	3,740363
	5	910	2,959041	3 500	3,544068	8 910	3,949878
Somme des valeurs y		14,51939		17,26329		19,17054	
Somme des carrés		42,20029		59,62261		73,52754	
y moyen $\bar{y}_1$		2,903878		3,452658		3,834109	
Variance de Y $10^3 s_{\bar{y}_1}^2$		9,437333		4,597116		6,394965	
Somme des valeurs x_i^2 $\sum n_i x_i^2$		$6,728585 \times 10^{-5}$					
Somme des valeurs y_i^2 $\sum n_i y_i^2$		175,2687					
Somme des produits $x_i y_i$ $\sum n_i x_i y_i$		0,1082676					
Moyenne $\bar{y}$		3,396882					
$\bar{x}$		$2,116689 \times 10^{-3}$					
N		15					
$\sum n_i x_i^2 - N \bar{x}^2$		$8,02469 \times 10^{-8}$					
$\sum n_i y_i^2 - N \bar{y}^2$		2,18666					
$\sum n_i x_i y_i - N \bar{x} \bar{y}$		$4,15473 \times 10^{-4}$					

		Equation
b	5177,436	7
a	-7,562142	8
s_1^2	$6,809805 \times 10^{-3}$	10
s_2^2	$35,56960 \times 10^{-3}$	13
1) Calcul de χ^2		
c	1,08611	15a
$\sum (n_i - 1) \lg s_{y1}^2$	-26,227308	
$(N - k) \lg s_1$	-26,002384	
χ^2	0,47685	15
2) Linéarité		
F	5,223292	16
$F_0(F(0,95, 1, 12))$	4,743	
$s_1^2 F/F_0$	$7,498704 \times 10^{-3}$	
s^2	$9,658003 \times 10^{-3}$	17b
3) IT, TC et IDC		
$X_{20} = (\lg 20\,000 - a) / b$	$2,29132 \times 10^{-3}$	20d
IT	163,4	
$Y_{20} = \lg 20\,000$	4,30103	
$t(0,95, 13)$	1,7981	
b_r	5104,399	20b
s_r	0,06561359	20c
X_c	$2,316606 \times 10^{-3}$	20
TC	158,7	21
$X_{10} = (\log 10\,000 - a) / b$	$2,233179 \times 10^{-3}$	20d
IT ₁₀	174,8	
IDC	11,4	
$(IT - TC) / IDC$	0,4192	
4) Une présentation imprimée correspondant à cet ensemble de résultats, tirée du programme Basic de l'annexe D, est fournie ci-après.		

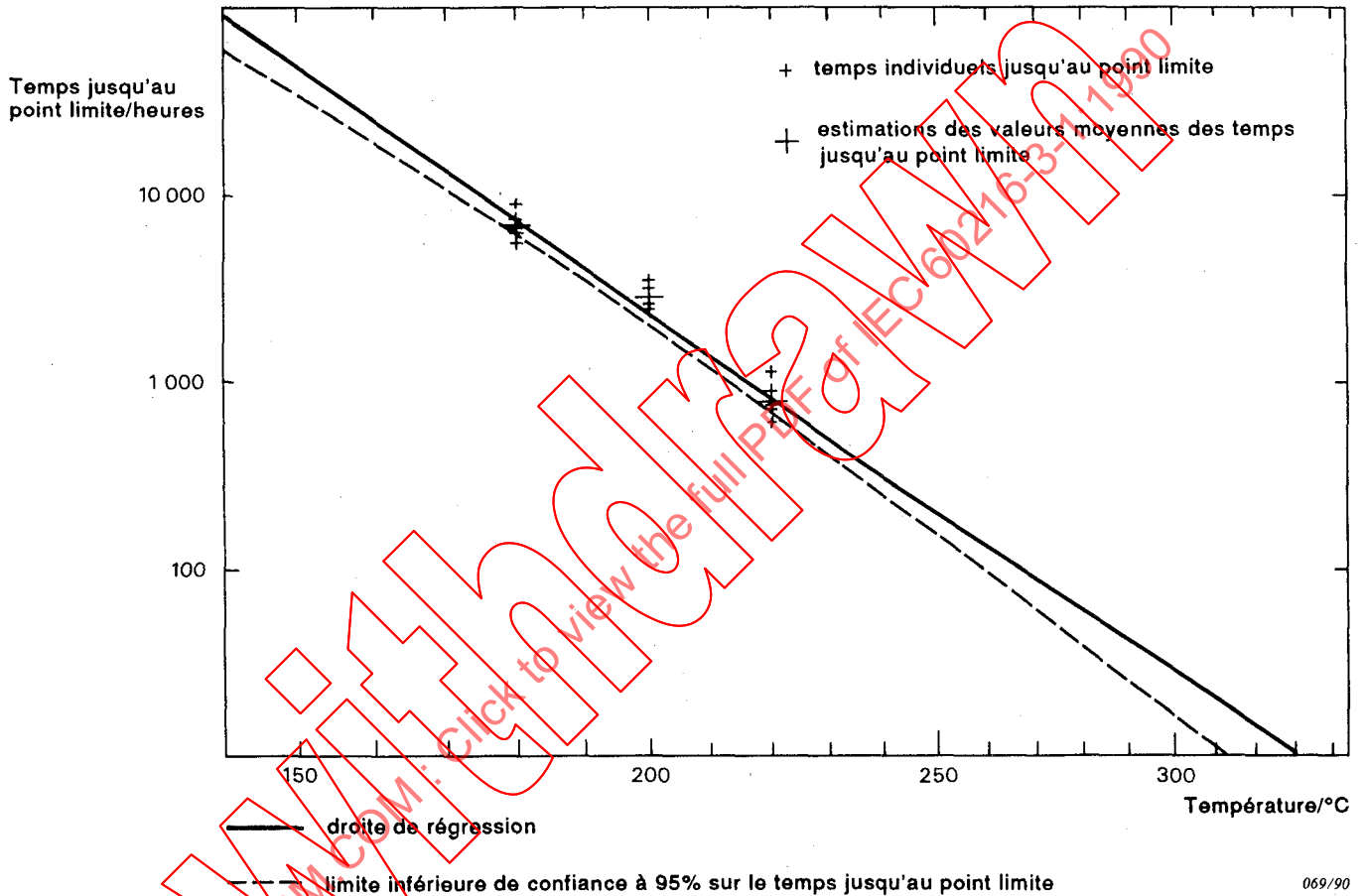
APPENDIX B WORKED EXAMPLE

i		1		2		3	
Number of specimens	n_i	5		5		5	
Exposure temperature	θ_i	220		200		180	
Thermodynamic temperature		493		473		453	
x variable	$x_i \times 10^3$	2.028398		2.114165		2.2075055	
Specimen number	j	t	y	t	y	t	y
	1	1 100	3.041393	3 200	3.505150	7 410	3.869818
	2	740	2.869232	2 620	3.418301	6 610	3.82021
	3	720	2.857332	2 460	3.390935	6 170	3.790285
	4	620	2.792392	2 540	3.404834	5 500	3.740363
	5	910	2.959041	3 500	3.544068	8 910	3.949878
Sum of y values		14.51939		17.26329		19.17054	
Sum of squares		42.20029		59.62261		73.52754	
y mean	$\bar{y}_i$	2.903878		3.452658		3.834109	
Y variance	$10^3 s_{y_i}^2$	9.437333		4.597116		6.394965	
Sum of x_i^2 values	$\sum n_i x_i^2$	6.728585×10^{-5}					
Sum of y_i^2 values	$\sum n_i y_i^2$	175.2687					
Sum of $x_i y_i$ products	$\sum n_i x_i y_i$	0.1082676					
Mean $\bar{y}$		3.396882					
$\bar{x}$		2.116689×10^{-3}					
N		15					
$\sum n_i x_i^2 - N \bar{x}^2$		8.02469×10^{-8}					
$\sum n_i y_i^2 - N \bar{y}^2$		2.18666					
$\sum n_i x_i y_i - N \bar{x} \bar{y}$		4.15473×10^{-4}					

		Equation
b	5177.436	7
a	-7562142	8
s_1^2	6.809805×10^{-3}	10
s_2^2	35.56960×10^{-3}	13
1) χ^2 calculation		
c	1.08611	15a
$\sum (n_i - 1) \lg s_{y_i}^2$	- 26.227308	
$(N - k) \lg s_1$	- 26.002384	
χ^2	0.47685	15
2) Linearity		
F	5.223292	16
$F_0 (F(0.95, 1, 12))$	4.743	
$s_1^2 F / F_0$	7.498704×10^{-3}	
s^2	9.658003×10^{-3}	17b
3) TI, TC and HIC		
$X_{20} = (\lg 20\,000 - a) / b$	2.29132×10^{-3}	20d
TI	163.4	
$Y_{20} = \lg 20\,000$	4.30103	
t (0.95, 13)	1.7981	
b_r	5104.399	20b
s_r	0.06561359	20c
X_c	2.316606×10^{-3}	20
TC	158.7	21
$X_{10} = (\lg 10\,000 - a) / b$	2.233179×10^{-3}	20d
TI ₁₀	174.8	
HIC	11.4	
$(TI - TC) / HIC$	0.4192	
4) A print-out for this data set, from the Basic program of Appendix D follows.		

Non-linéarité mineure
 Indice de température = 163,4
 Limite de confiance = 158,7
 Intervalle de division par deux = 11,4
 $F(n, d) = 5,2 (1, 12)$
 $F_0 = 4,7$
 $\chi^2(f) = 0,5 (2)$
 Probabilité = 0,21213

Température	Temps moyen	Variance (log)
220	801,5	$9,44 \times 10^{-3}$
200	2 835,7	$4,60 \times 10^{-3}$
180	6 825,1	$6,39 \times 10^{-3}$
Variance pondérée (s_1)		$6,81 \times 10^{-3}$

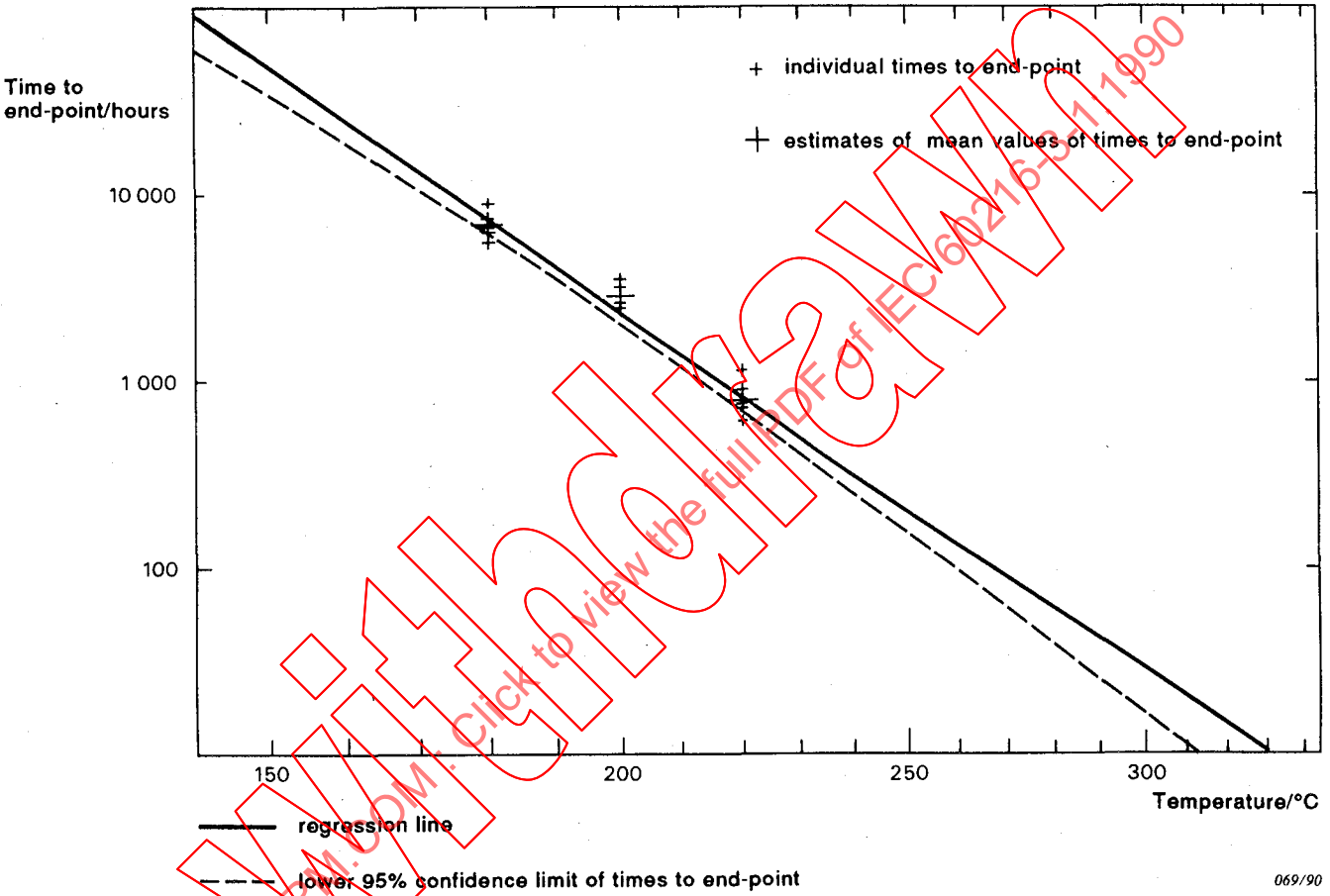


Température 220					
Temps:	1 100,0	740,0	720,0	620,0	910,0
Température 200					
Temps:	3 200,0	2 620,0	2 460,0	2 540,0	3 500,0
Température 180					
Temps:	7 410,0	6 610,0	6 170,0	5 500,0	8 910,0

FIG. B1. — Ce graphique d'endurance thermique est issu de l'exemple donné en annexe B.

Minor non-linearity
Temperature index = 163.4
Confidence limit = 158.7
Halving interval = 11.4
 $F(n, d)$ = 5.2 (1, 12)
 F_0 = 4.7
 $\chi^2(f)$ = 0.5 (2)
Probability = 0.21213

Temperature	Mean time	Variance (log)
220	801.5	9.44×10^{-3}
200	2 835.7	4.60×10^{-3}
180	6 825.1	6.39×10^{-3}
Pooled variance (s_1)		6.81×10^{-3}



Temperature 220				
Times:				
1 100.0	740.0	720.0	620.0	910.0
Temperature 200				
Times:				
3 200.0	2 620.0	2 460.0	2 540.0	3 500.0
Temperature 180				
Times:				
7 410.0	6 610.0	6 170.0	5 500.0	8 910.0

FIG. B1. — This Thermal Endurance Graph is derived from the data of the Worked Example in Appendix B.

ANNEXE C

FRACTILES DES LOIS DE χ^2 , DE t ET DE F

Tableau C1

χ^2				
$f \backslash P$	0,050	0,010	0,005	0,001
1	3,8	6,6	7,9	10,8
2	6,0	9,2	10,6	13,8
3	7,8	11,3	12,8	16,3
4	9,5	13,3	14,9	18,5
5	11,1	15,1	16,7	20,5
6	12,6	16,8	18,5	22,5

Tableau C2

F					
$f_d \backslash f_n$	1	2	3	4	5
12	4,8	3,9	3,5	3,3	3,1
13	4,7	3,8	3,4	3,2	3,0
14	4,6	3,7	3,3	3,1	3,0
15	4,5	3,7	3,3	3,1	2,9
16	4,5	3,6	3,2	3,0	2,9
17	4,5	3,6	3,2	3,0	2,8
18	4,4	3,6	3,2	2,9	2,8
19	4,4	3,5	3,1	2,9	2,7
20	4,4	3,5	3,1	2,9	2,7
25	4,2	3,4	3,0	2,8	2,6
30	4,2	3,3	2,9	2,7	2,5
40	4,1	3,2	2,8	2,6	2,5
50	4,0	3,2	2,8	2,6	2,4
100	3,9	3,1	2,7	2,5	2,3
500	3,9	3,0	2,6	2,4	2,2

Tableau C3

f	t
1	6,31
2	2,92
3	2,35
4	2,13
5	2,02
6	1,94
7	1,90
8	1,86
9	1,83
10	1,81
11	1,80
12	1,78
13	1,77
14	1,76
15	1,75
16	1,75
17	1,74
18	1,73
19	1,73
20	1,73
25	1,71
30	1,70
40	1,68
50	1,68
100	1,66
500	1,65

APPENDIX C FRACTILES OF THE χ^2 , t AND F DISTRIBUTIONS

Table C1

χ^2				
$f \backslash P$	0.050	0.010	0.005	0.001
1	3.8	6.6	7.9	10.8
2	6.0	9.2	10.6	13.8
3	7.8	11.3	12.8	16.3
4	9.5	13.3	14.9	18.5
5	11.1	15.1	16.7	20.5
6	12.6	16.8	18.5	22.5

Table C2

F					
$f_d \backslash f_n$	1	2	3	4	5
12	4.8	3.9	3.5	3.3	3.1
13	4.7	3.8	3.4	3.2	3.0
14	4.6	3.7	3.3	3.1	3.0
15	4.5	3.7	3.3	3.1	2.9
16	4.5	3.6	3.2	3.0	2.9
17	4.5	3.6	3.2	3.0	2.8
18	4.4	3.6	3.2	2.9	2.8
19	4.4	3.5	3.1	2.9	2.7
20	4.4	3.5	3.1	2.9	2.7
25	4.2	3.4	3.0	2.8	2.6
30	4.2	3.3	2.9	2.7	2.5
40	4.1	3.2	2.8	2.6	2.5
50	4.0	3.2	2.8	2.6	2.4
100	3.9	3.1	2.7	2.5	2.3
500	3.9	3.0	2.6	2.4	2.2

Table C3

f	t
1	6.31
2	2.92
3	2.35
4	2.13
5	2.02
6	1.94
7	1.90
8	1.86
9	1.83
10	1.81
11	1.80
12	1.78
13	1.77
14	1.76
15	1.75
16	1.75
17	1.74
18	1.73
19	1.73
20	1.73
25	1.71
30	1.70
40	1.68
50	1.68
100	1.66
500	1.65

ANNEXE D

PROGRAMME BASIC POUR ENDURANCE THERMIQUE

Ce programme est écrit en langage BASIC utilisé sur de nombreux types de micro-ordinateurs «PC»*. Le listing donné doit en principe être saisi comme indiqué, bien que le contenu d'une ligne après une apostrophe puisse être ignoré. Il y a peu d'avantages à utiliser une version compilée du langage. Pour permettre l'affichage graphique sur écran, il est essentiel d'utiliser une carte «Color Graphics» dans l'ordinateur, sinon le sous-programme commençant à la ligne 1320 devra être supprimé. Si une carte «Enhanced Graphics» est utilisée, l'appel écran de la ligne 1340 peut être changé en Screen 10, et les données de la ligne 60 changées en DATA 640, 350.

Après saisie du code source de façon normale, le programme doit être sauvegardé sous le nom de fichier "ERACOM.bas", pour permettre le bon fonctionnement des appels aux autres programmes.

Le programme d'analyse des données d'essai destructif est appelé comme sous-programme de celui-ci. Cependant, le programme d'analyse de données d'essai destructif n'étant pas encore disponible, l'appel au sous-programme à la ligne 150 restera sans effet.

Le programme est fourni avec des instructions d'utilisation sur écran.

Lorsqu'un rapport doit être envoyé à l'imprimante, il n'est pas envoyé directement, mais d'abord à un fichier sur disque portant le même nom que le fichier de données, et doté de l'extension de nom de fichier «.rep» ou «.sre», de façon qu'une trace permanente du rapport soit disponible, par exemple pour un traitement de texte. On peut également modifier le programme à la ligne 2900 en OPEN "O",2,"LPT1:", le rapport étant alors envoyé directement à l'imprimante.

* Le langage est «GWASIC», qui fonctionne sous le système MSDOS.