

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

216-3-2

Première édition
First edition
1993-09

**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 2 - 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'essai égaux)

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

Part 3:

Instructions for calculating thermal endurance
characteristics

Section 2 - Calculations for incomplete data:
proof test results up to and including the
median time to end-point (equal test groups)



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 216-3-2: 1993

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
216-3-2**

Première édition
First edition
1993-09

**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 2 - 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'essai égaux)

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

Part 3:

Instructions for calculating thermal endurance
characteristics

Section 2 - Calculations for incomplete data:
proof test results up to and including the
median time to end-point (equal test groups)

© CEI 1993 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 pro-
cédé, 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
INTRODUCTION	8
 Articles	
1 Domaine d'application et objet	10
2 Principes de calcul	10
3 Instructions à suivre pour déduire les caractéristiques d'endurance thermique	16
4 Référence	30
 ANNEXE A – Liste des symboles	 34
ANNEXE B – Exemple développé	38
ANNEXE C – Fractiles des lois de χ^2 , de t et de F	46
ANNEXE D – Programme BASIC pour données incomplètes	48
ANNEXE E – Coefficients pour l'estimation des moyennes et des variances de groupe et de la variance des moyennes pour des résultats incomplets	56
ANNEXE F – Temps unique et temps multiples jusqu'au point limite dans le premier cycle	58

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	9
 Clause	
1 Scope and object	11
2 Calculation principles	11
3 Instructions for deriving thermal endurance characteristics	17
4 References	31
 APPENDIX A – List of symbols	 35
APPENDIX B – Worked example	39
APPENDIX C – Fractiles of the χ^2 , t and F distributions	47
APPENDIX D – BASIC program for incomplete data	48
APPENDIX E – Coefficients for estimation of group means, variances and variance of means for incomplete data	 57
APPENDIX F – Single and multiple times to end-point within first cycle	59

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 2 - 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'essai égaux)

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.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

DIS	Rapport de vote
15B(BC)82	15B(BC)88

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**GUIDE FOR THE DETERMINATION OF THERMAL
ENDURANCE PROPERTIES OF ELECTRICAL INSULATING
MATERIALS****Part 3: Instructions for calculating thermal
endurance characteristics****Section 2 - Calculations for incomplete data: proof test results
up to and including the median time to end-point
(equal test groups)****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.

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

DIS	Report on Voting
15B(CO)82	15B(CO)88

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

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

Publications n^{os} 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.

216-3-1 (1990): Troisième partie: Instructions pour le calcul des caractéristiques d'endurance thermique, Section 1 - Calculs basés sur les valeurs moyennes des résultats complets normalement distribués.

216-5 (1990): Cinquième partie: Guide pour l'utilisation des caractéristiques d'endurance thermique.

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.

Withd
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 216-3-2:1993

The following IEC publications are quoted in this standard:

Publication 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.

216-3-1 (1990): Part 3: Instructions for calculating thermal endurance characteristics.
Section 1 - Calculations using mean values of normally distributed complete data.

216-5 (1990): Guidelines the for the application of thermal endurance characteristics.

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.

Withd 216-3-21993
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60216-3-21993

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 2 - 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'essai égaux)

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 plusieurs 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.

Cette publication est la section 2. Elle consiste exclusivement en instructions de calcul. On trouvera la théorie statistique correspondante dans la partie appropriée de la Publication 493 de la CEI, ou dans les références qui y sont données.

Une nouvelle troisième partie est en préparation combinant et développant les présentes Sections 1 et 2 en relation avec une nouvelle autre section: Procédures de calcul pour les résultats normalement distribués provenant d'essais destructifs.

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

Part 3: Instructions for calculating thermal endurance characteristics

Section 2 - Calculations for incomplete data: proof test results up to and including the median time to end-point (equal test groups)

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 the application of thermal endurance characteristics (IEC Publication 216-5).

This part consists of several 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.

This is Section 2. It consists exclusively of calculation instructions. The relevant statistical theory will be found in the appropriate part of IEC Publication 493, or in the references given.

A new Part 3 is in preparation combining and further developing the present Sections 1 and 2 together with the draft of a separate Section: Calculation procedures for normally distributed results from destructive test procedures.

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 Publication 493-1 de la CEI, auxquels il convient de se référer pour plus de détails concernant les bases mathématiques.

La section 3 donne la séquence de calcul pour des résultats d'essais incomplets de groupes d'égale grandeur où des résultats sont disponibles jusques et y compris le temps médian pour atteindre le point limite.

Un exemple développé, 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 mis pour atteindre un point limite donné («temps 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.

Lorsque les résultats disponibles sont incomplets, en ce sens que les temps jusqu'au point limite supérieurs à la valeur médiane de chaque groupe n'ont pas été déterminés, les estimations non biaisées de la moyenne et de la variance du logarithme du temps jusqu'au point limite de chacun des groupes et de la variance de la moyenne peuvent être déterminées par une méthode algébrique simple (voir la référence donnée à l'article 4).

Ces estimations sont utilisées de la même manière que les estimations de moyennes et de variances de la section 1 de cette partie de la Publication 216.

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.

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 reference should be made for the mathematical background details.

Section 3 gives the calculation sequence for incomplete test results from groups of equal magnitude, where results are available up to and including the median time to end-point.

A worked example, 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 ("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.

Where the available data are incomplete, in that times to end-point above the median value of each group are not determined, unbiased estimates of the mean and variance of the logarithm of time to end-point within each group, and of the variance of the mean may be determined by a simple algebraic method (see reference in Clause 4).

These estimates are used in a fashion similar to that used for the estimates of mean and variance in Section 1 of this part of Publication 216.

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 using the methods of generalized regression analysis.

2.2 Données d'analyse

Les données expérimentales sont obtenues sous forme de valeurs de température (ϑ °C) et de temps jusqu'au point limite (t heures). Chaque valeur est transformée en valeur x ou y :

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

$y_{ij} = \log(t_{ij})^*$ log de la valeur (j) du temps dans le i^{ème} groupe de vieillissement (i)

n = nombre d'éprouvettes dans chaque groupe

k = nombre de groupes (= nombre de températures d'exposition)

La valeur individuelle de t_{ij} est égale au temps correspondant au milieu du dernier cycle de l'essai d'épreuve avant que le point limite ne soit atteint.

Les valeurs sont incluses dans le calcul jusqu'au m^{ème} temps jusqu'au point limite t_{im}

$$m = (n + 1)/2 \quad \text{si } n \text{ est impair}$$

ou

$$m = n / 2 + 1 \quad \text{si } n \text{ est pair}$$

2.3 Restrictions

- Le nombre initial d'éprouvettes dans tous les groupes doit être le même et au moins égal à 11.
- Les essais dans chaque groupe doivent être effectués jusqu'à ce que le temps médian pour atteindre le point limite soit obtenu.
- La durée du cycle de chaque groupe doit être choisie de manière telle que le temps médian pour atteindre le point limite ne soit pas obtenu avant le huitième cycle ni après le douzième cycle.
- Un temps jusqu'au point limite situé à l'intérieur du premier cycle ne peut être traité par aucune procédure mathématique connue et doit être reconnu non valide.

On peut:

- recommencer avec un nouveau groupe d'éprouvettes;
- adopter la procédure indiquée en annexe F car l'imprécision mathématique introduite par cette procédure sera faible.

Si le temps limite est atteint pour plus d'une éprouvette au cours du premier cycle, il sera nécessaire d'écarter ce groupe et d'essayer un autre groupe en portant une attention particulière aux points critiques de la technique d'expérimentation.

* En principe, les calculs peuvent être faits à l'aide de 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 3.1.5.

Afin de permettre à certains résultats intermédiaires d'être comparables à ceux de la deuxième édition des Publications 216-3 (1980) et 216-4 (1980), de la CEI, le programme informatique (annexe D) utilise des logarithmes de base 10.

2.2 Data for analysis

The experimental data are obtained as values of temperature (ϑ °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 = number of specimens in each group

k = number of groups (= number of exposure temperatures)

The individual value of t_{ij} is taken as the mid-point of the last proof test cycle before the end point is reached.

Values are included in the calculation up to the m 'th time to end-point, t_{im}

$$\begin{aligned} m &= (n + 1)/2 && \text{if } n \text{ is odd} \\ \text{or} \\ m &= n / 2 + 1 && \text{if } n \text{ is even} \end{aligned}$$

2.3 Restrictions

- The initial numbers of specimens in all groups shall be equal and not less than 11.
- Testing in each group shall be continued until the median time to end-point is reached.
- The cycle time for each group shall be chosen so that the median time to end-point is reached not earlier than the eighth cycle and preferably not later than the twelfth.
- A time to end-point within the first cycle cannot be treated by any known mathematical procedure, and shall be treated as invalid.

Either:

- start again with a new group of specimens;
- adopt the procedure of Appendix F as the mathematical inaccuracy introduced by this procedure will be small.

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

* In principle, calculations may be made using natural (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 3.1.5.

In order to enable some intermediate results to be comparable with those of the second edition of Publications 216-3 (1980) and 216-4 (1980), the computer program (Appendix D) uses logarithms to base 10.

2.4 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.

2.4.1 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 consignés comme indiqué au paragraphe 3.1.5.

2.4.2 Test F de linéarité

Le rapport F est le rapport de la variance des écarts des moyennes du groupe de vieillissement par rapport à la droite de régression (s_2^2 , voir équation (11)), à la variance au sein des groupes de vieillissement (s_1^2 , voir équation (10)). Une valeur élevée de F peut provenir soit d'une valeur élevée des écarts par rapport à la droite de régression soit d'une valeur faible 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 3.1.6 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 ($IT - TC_a \leq 0,6 \text{ IDC}$, voir paragraphe 2.4.3), la non-linéarité est considérée comme sans importance pratique.

2.4 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.

Test 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.

2.4.1 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, as in Sub-clause 3.1.5.

2.4.2 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 a high value of the deviations from the regression line or from a low value 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 3.1.6 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 ($TI - TC_a \leq 0,6 \text{ HIC}$, see Sub-clause 2.4.3) the non-linearity is deemed to be of no practical importance.

2.4.3 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:

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

(ou $IT - TC_a \leq 0,6 IDC$ si approprié)

Dans les cas où l'intervalle inférieur de confiance dépasse 0,6 IDC à une faible marge 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 3.1.8).

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).

2.5 Précision interne des calculs

De nombreuses étapes du calcul impliquent d'effectuer des sommes de différences de nombres ou de carrés de ces différences, dans lesquelles 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 chiffres significatifs. 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 10 ou même 12 chiffres significatifs peut être facilement obtenue.

3 Instructions à suivre pour déduire les caractéristiques d'endurance thermique

3.1 Déduction numérique et graphique d'endurance thermique

3.1.1 Estimation des moyennes et des variances de groupe et de la variance des moyennes

(Ces instructions s'appliquent dans le cas de groupes égaux avec des temps jusqu'au point limite connus jusqu'au temps médian.)

- i) Faire un rangement des logarithmes des temps par ordre croissant jusqu'au point limite dans chaque groupe.

$$y_{i1} \leq y_{i2} \leq \dots \leq y_{im}$$

2.4.3 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:

$$TI - TC \leq 0,6 \text{ HIC}$$

(or $TI - TC_a \leq 0,6 \text{ HIC}$ if appropriate).

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 3.1.8).

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

2.5 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 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 10 or even 12 digits is easily available.

3 Instructions for deriving thermal endurance characteristics

3.1 Numerical derivation and thermal endurance graph

3.1.1 Estimation of group means, variances and variance of means

(These instructions apply to the case of equal groups with times to end-point known up to the median.)

- i) Arrange the logarithms of times to end-point in each group in increasing order

$$y_{i1} \leq y_{i2} \leq \dots \leq y_{im}$$

ii) Calculer l'estimation de la moyenne

$$\bar{y}_i = (1 - \mu)y_{im} + \frac{\mu}{(m-1)} \sum_{j=1}^{m-1} y_{ij} \quad (1)$$

iii) Calculer l'estimation de la variance

$$s_{li}^2 = \alpha \sum_{j=1}^{m-1} (y_{im} - y_{ij})^2 + \beta \left[\sum_{j=1}^{m-1} (y_{im} - y_{ij}) \right]^2 \quad (2)$$

Les coefficients μ , α , β (et ϵ utilisé dans l'équation 11 et les suivantes) se trouvent dans l'annexe E.

3.1.2 Moyennes générales

Calculer les valeurs de $\bar{x}$, $\bar{y}$, et N . Toutes les sommations restantes de l'article 3 sont faites sur l'indice i allant de 1 à k .

$$N = mk \quad (3)$$

$$\bar{x} = \sum x_i / k \quad (4)$$

$$\bar{y} = \sum y_i / k \quad (5)$$

3.1.3 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

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

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

ii) Calculate the estimate of mean

$$\bar{y}_i = (1 - \mu)y_{im} + \frac{\mu}{(m-1)} \sum_{j=1}^{m-1} y_{ij} \quad (1)$$

iii) Calculate the estimate of variance

$$s_{ii}^2 = \alpha \sum_{j=1}^{m-1} (y_{im} - y_{ij})^2 + \beta \left[\sum_{j=1}^{m-1} (y_{im} - y_{ij}) \right]^2 \quad (2)$$

The coefficients μ , α , β (and ϵ used in equation 11 et seq.) will be found in Appendix E.

3.1.2 General means

Calculate the values of $\bar{x}$, $\bar{y}$ and N . All remaining summations in Clause 3 are with respect to the index i over the range 1 to k .

$$N = mk \quad (3)$$

$$\bar{x} = \sum x_i / k \quad (4)$$

$$\bar{y} = \sum y_i / k \quad (5)$$

3.1.3 Regression equation and thermal endurance graph

Calculate the coefficients of the regression equation

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

using the equations

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

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

Quand la droite de régression a été établie, on la trace sur le graphique d'endurance thermique, c'est-à-dire un graphique avec $y = \log(t)$ en ordonnée et $x = 1/(\vartheta + 273)$ en abscisse. 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).

NOTE - Du papier graphique spécial peut être obtenu à cet effet.

On peut également utiliser un programme informatique qui exécute ce calcul et qui comprend un sous-programme de tracé du graphique sur l'échelle non linéaire appropriée (voir l'annexe D qui comporte un tel sous-programme).

Les valeurs individuelles $y_{ij} = \log(t_{ij})$, et les estimations des valeurs moyennes $\bar{y}_i$, obtenues conformément au paragraphe 3.1.1 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 inférieures de confiance 95 % (voir paragraphe 3.1.7).

3.1.4 *Calculs de variance*

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

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

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

$$s_2^2 = \frac{1}{\varepsilon} \frac{\sum (\bar{y}_i - Y_i)^2}{k - 2} \quad (11)$$

où ε est défini dans l'annexe E, et

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

Ceci peut être simplifié en

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

When the regression line has been established, draw it 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).

NOTE - 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 (see Appendix D, which includes such a sub-routine).

The individual values $y_{ij} = \log(t_{ij})$, and the mean value estimates $\bar{y}_i$ obtained as in Sub-clause 3.1.1, 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 3.1.7).

3.1.4 Variance calculations

Calculate the pooled value of the variance within the ageing groups

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

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

$$s_2^2 = \frac{1}{\epsilon} \frac{\sum (\bar{y}_i - Y_i)^2}{k - 2} \quad (11)$$

where ϵ is found in Appendix E, and

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

This may be simplified to

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

Calculer le moment centré d'ordre 2 des valeurs x

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

3.1.5 Test d'égalité des variances

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

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

où:

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

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 χ_0^2 pour $f = k - 1$ degrés de liberté (tableau C1, annexe C).

Si la valeur de χ^2 est plus grande que la valeur tabulée pour un niveau de signification de 0,05, indiquer la valeur de χ^2 et le niveau de signification tabulé pour la valeur immédiatement inférieure à χ^2 . Ou encore, si χ^2 et son niveau de signification sont calculés par un programme d'ordinateur (par exemple celui de l'annexe D), porter ces valeurs dans le rapport.

3.1.6 Test de linéarité (Test F)

La variance des écarts par rapport à la droite de régression, s_2^2 , est comparée à la variance moyenne 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 moyenne

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

Calculate the central second moment of the x values

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

3.1.5 Test for equality of variances

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

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

where:

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

and $\log_q$ designates the logarithm to base q . If Briggsian logarithms (base 10) are used, then $\ln q \approx 2,3$, if natural logarithms (base e) are used, then $\ln q = 1$.

Compare the value of χ^2 with the tabulated value χ_0^2 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 (e.g. that of Appendix D) report these.

3.1.6 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) 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

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

3.1.7 Limites de confiance des estimations de X et Y

a) Estimations de Y

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

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

où

$$Y = a + bX,$$

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

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

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

Pour la courbe de limite de confiance du graphique d'endurance thermique (paragraphe 3.1.3), Y_c est calculé pour plusieurs paires (X, Y) de valeurs sur l'étendue de la plage considérée et la courbe tracée par les points (X, Y_c) reportés sur le graphique.

b) Estimations de X

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

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

où

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

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

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

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

3.1.7 Confidence limits of X and Y estimates

a) Y -estimates

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

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

where

$$Y = a + bX,$$

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

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

and t is the tabulated value of Student's t with $f = N - 2$ 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 3.1.3), 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) 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

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

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

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

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

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 $f = N - 2$ degrés de liberté à un niveau de confiance 95 %, $t(0,95, N - 2)$ (tableau C3, annexe C).

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

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

3.1.8 Calcul des caractéristiques d'endurance thermique

A partir de l'équation de régression (6) du paragraphe 3.1.3, 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, IT₁₀. L'intervalle de division par deux, IDC, est IT₁₀ - IT.

Calculer par la méthode du paragraphe 3.1.7 b) la limite inférieure de confiance 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 du test 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 3.1.6), 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 = ..., IDC_g = ..., conformément au paragraphe 3.2.3.

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

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

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 $f = N - 2$ 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 .

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

3.1.8 Calculation of thermal endurance characteristics.

From the regression equation (6) in Sub-clause 3.1.3 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 3.1.7 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 $\leq 0,6$, 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 $0,6 < (TI - TC)/HIC \leq 1,6$, and at the same time $F \leq F_0$ (Sub-clause 3.1.6), the value $TI_a = TC + 0,6 HIC$ together with HIC are reported as TI(HIC).

In all other cases the result may be reported only in the format $TI_g = \dots$, $HIC_g = \dots$, as in Sub-clause 3.2.3.

3.1.9 Examen des tests statistiques et rapports

Dans le tableau 1, 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 les calculs d'endurance thermique, figure 1.

Tableau 1

Etape	Test (?) ou mesure à prendre	Voir	Mesure à prendre si NON
1	? Estimation du temps moyen jusqu'au point limite à la plus basse température > 5 000 h		Passer à l'étape 12
2	? Extrapolation* ≤ 25 K		Passer à l'étape 12
3	? $P(\chi^2, f) \leq 0,05$	3.1.5	Rapporter χ^2 et P et passer à l'étape 4
4	? $F \leq F_0$	3.1.6	Ajuster $s_1^2 \rightarrow s_1^2 F / F_0$ et passer à l'étape 9
5	? $IT - TC \leq 0,6$ IDC	3.1.8	Passer à l'étape 7
6	Indiquer IT (IDC)		
7	$IT - TC \leq 1,6$ IDC	3.1.8	Passer à l'étape 11
8	Indiquer $IT_a = TC + 0,6$ IDC et IDC comme IT (IDC)	2.4.3	
9	? $IT - TC_a \leq 0,6$ IDC	2.4.2	Passer à l'étape 11
10	Indiquer IT (IDC)		
11	Indiquer IT_g et IDC_g		
12	Tester un nouveau groupe à température plus basse		

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

3.1.10 Rapport

La présentation exigée et le contenu du rapport sont donnés à l'article 14 de la Publication 216-1 de la CEI. 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.

3.1.9 Survey of statistical tests and reporting.

In Table 1, 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 1.

Table 1

Step	Test (?) or action	See	Action if NO
1	? Estimated mean time to end-point at lowest temperature > 5 000 h		Go to step 12
2	? Extrapolation* ≤ 25 K		Go to step 12
3	? $P(\chi^2, f) \leq 0,05$	3.1.5	Report χ^2 and P and go to step 4
4	? $F \leq F_0$	3.1.6	Adjust $s_1^2 \rightarrow s_1^2 F / F_0$ and go to step 9
5	? $TI - TC \leq 0,6$ HIC	3.1.8	Go to step 7
6	Report TI (HIC)		
7	$TI - TC \leq 1,6$ HIC	3.1.8	Go to step 11
8	Report $TI_a = TC + 0,6$ HIC and HIC as TI (HIC)	2.4.3	
9	? $TI - TC_a \leq 0,6$ HIC	2.4.2	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 .

3.1.10 Report

The required format and content of report are given in Clause 14 of IEC Publication 216-1. 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 *Déduction graphique*

3.2.1 *Totalement graphique*

Déduire des données d'essai la plus haute valeur des temps jusqu'au point limite t_{im} pour chaque température d'essai (voir paragraphe 2.2). Porter ces valeurs en fonction des températures d'essai ϑ_i sur le papier graphique spécial mentionné au paragraphe 3.1.3. Tracer le graphique d'endurance thermique en déterminant de manière visuelle la droite passant au mieux par les points et, par suite, estimer l'indice de température IT_g comme la température pour laquelle le temps jusqu'au point limite est de 20 000 h, et l'intervalle de division par deux IDC_g comme la différence de température $IT_{10} - IT_g$, où IT_{10} est la température pour laquelle le temps jusqu'au point limite est de 10 000 h.

3.2.2 *Partiellement graphique*

Calculer les coefficients a et b de l'équation de régression conformément au paragraphe 3.1.3 et l'utiliser pour tracer le graphique d'endurance thermique. Sur ce graphique, indiquer la plus haute valeur des temps jusqu'au point limite t_{im} pour chaque température d'essai ϑ_i (voir paragraphe 2.2).

D'après le graphique d'endurance thermique déterminer IT_g et IDC_g conformément au paragraphe 3.1.8.

3.2.3 *Rapport*

Ecrire « $IT_g = \dots$, $IDC_g = \dots$ ».

4 *Référence*

J.G. Saw, Biometrika, 46, 150 (1959); «Estimation of the Normal Population Parameters given a Singly Censored Sample».

3.2 Graphical derivation

3.2.1 Wholly graphical

Derive from the test data the highest value of the times to end-point t_{im} at each test temperature (see Sub-clause 2.2). Plot these values versus the test temperatures ϑ_i on the special graph paper referred to in Sub-clause 3.1.3. 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 temperature difference $TI_{10} - TI_g$, where TI_{10} is the temperature at which the time to end-point is 10 000 h.

3.2.2 Partially graphical

Calculate the coefficients a and b of the regression equation as in Sub-clause 3.1.3 and use this to draw the thermal endurance graph. On the same graph, indicate the highest value of the times to end-point t_{im} at each test temperature ϑ_i (see Sub-clause 2.2).

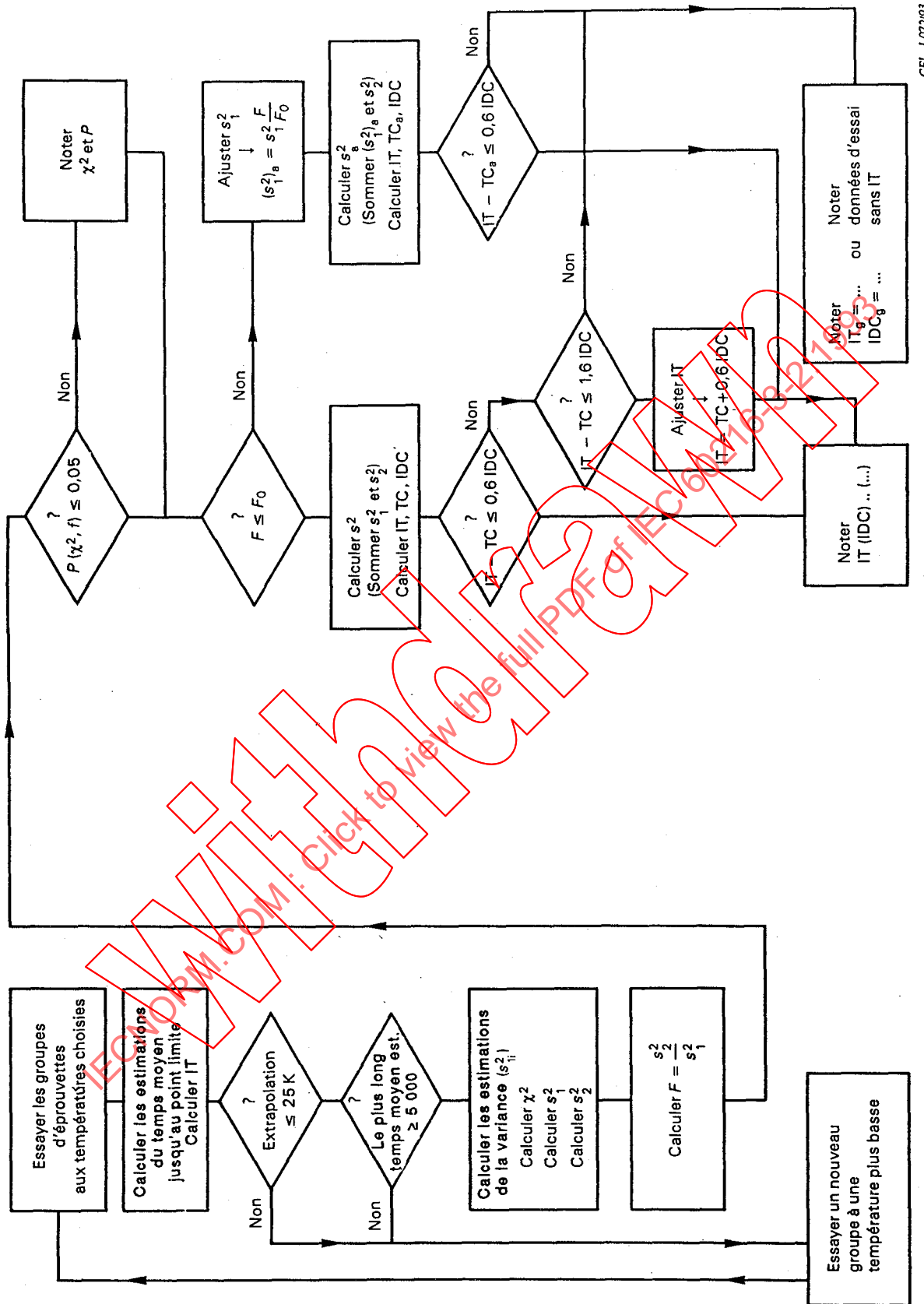
From the thermal endurance graph determine TI_g and HIC_g as in Sub-clause 3.1.8.

3.2.3 Report

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

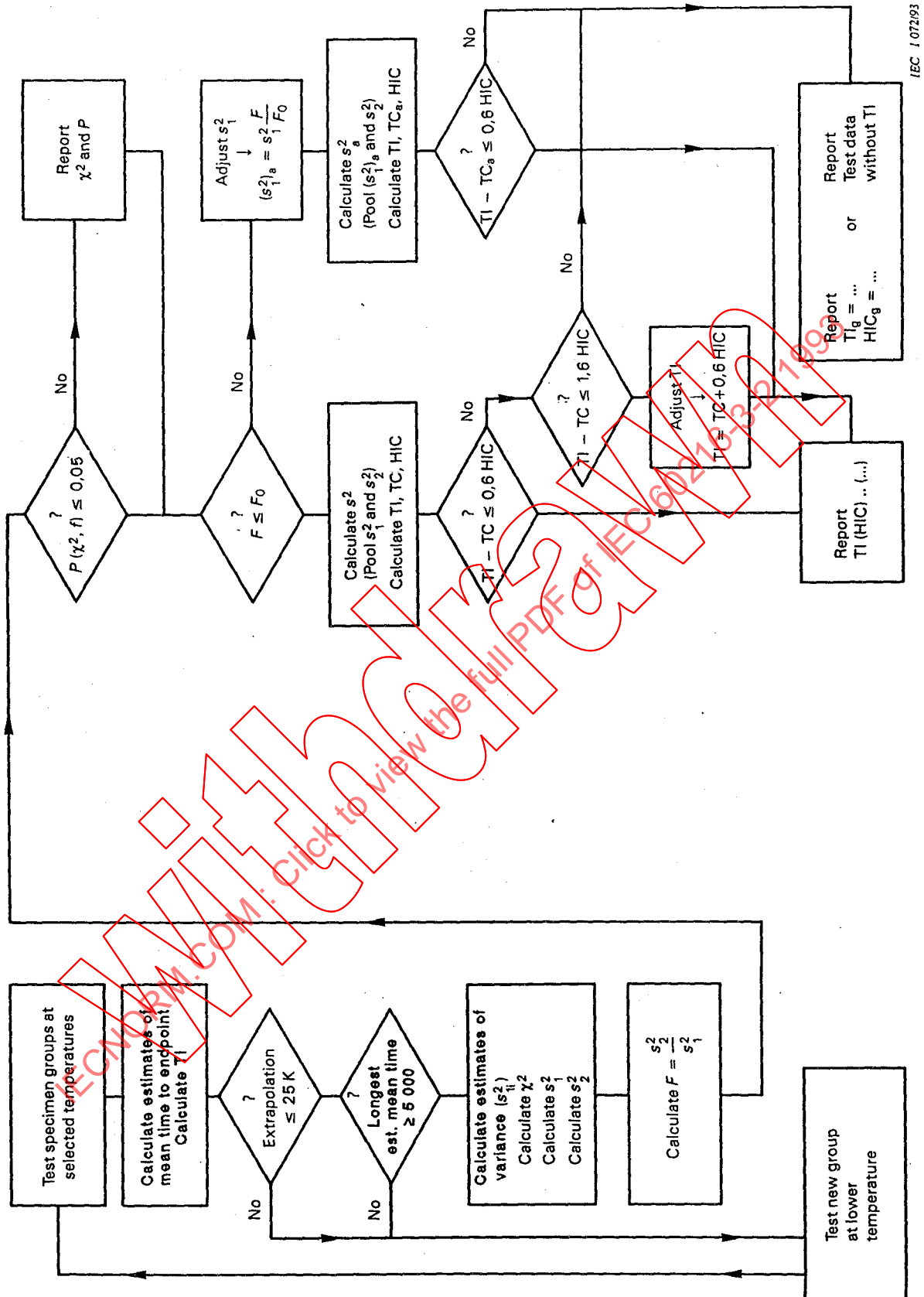
4 References

J.G. Saw, Biometrika, 46, 150 (1959): "Estimation of the Normal Population Parameters given a Singly Censored Sample".



CEI 1 07293

Figure 1 - Organigramme pour les calculs d'endurance thermique



IEC 1072/93

Figure 1 – Decision flow chart for thermal endurance calculations

ANNEXE A

LISTE DES SYMBOLES

Symboles		Paragraphes
a	Coefficient de régression	3.1.3
b	Coefficient de régression	3.1.3
b_r	Constante intermédiaire	3.1.7 b)
c	Constante intermédiaire	3.1.5
f	Nombre de degrés de liberté	
F	Variable stochastique suivant une loi de Fisher	3.1.6
F_0	Valeur tabulée de F	3.1.6
IDC	Intervalle de division par deux	3.1.8
IDC _g	Intervalle de division par deux correspondant à IT _g	3.2
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 de températures d'exposition	2.2
$\log(x)$	Logarithme de x en base non spécifiée	2.2
m	Numéro d'ordre du dernier intervalle de temps jusqu'au point limite inclus dans le calcul	2.2
n	Nombre d'éprouvettes dans chaque groupe de température	2.2
N	Nombre total d'éprouvettes sur lesquelles portent les calculs	3.1.2
P	Seuil de signification de χ^2	tableau C1
s^2	Estimation de la variance moyenne	3.1.6 a)
s_a^2	Valeur ajustée de s^2	3.1.6 b)
s_r^2	Constante intermédiaire	3.1.7 b)
s_Y^2	Variance de Y	3.1.7 a)
s_i^2	Valeur moyenne des s_{1i}^2	3.1.4
$(s_1^2)_a$	Valeur ajustée de s_1^2	3.1.6 b)
s_{1i}^2	Variance estimée au sein du groupe d'éprouvettes exposées à ϑ_i	3.1.1
s_2^2	Variance par rapport à la droite de régression	3.1.4
t	Variable stochastique suivant une loi de Student	3.1.7 a)
t_f	Temps jusqu'au point limite choisi pour estimation	3.1.7 b)
t_{ij}	Temps jusqu'au point limite de la jème éprouvette exposée à ϑ_i	2.2
t_{im}	Plus long temps jusqu'au point limite inclus dans le calcul	2.2
TC	Limite inférieure de confiance 95 % de IT	3.1.8
TC _a	Valeur ajustée de TC	3.1.8
IT	Indice de température	3.1.8

APPENDIX A

LIST OF SYMBOLS

Symbol		Sub-clause
a	Regression coefficient	3.1.3
b	Regression coefficient	3.1.3
b_r	Intermediate constant	3.1.7 b)
c	Intermediate constant	3.1.5
f	Number of degrees of freedom	
F	Fisher distributed stochastic variable	3.1.6
F_0	Tabulated value of F	3.1.6
HIC	Halving interval	3.1.8
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 exposure temperatures	2.2
$\log(x)$	Logarithm of x to unspecified base	2.2
m	Order number of last time to end-point included in calculations	2.2
n	Number of specimens in each temperature group	2.2
N	Total number of specimens included in calculations	3.1.2
P	Significance level of χ^2	Table C.1
s^2	Pooled variance estimate	3.1.6 a)
s_a^2	Adjusted value of s^2	3.1.6 b)
s_r^2	Intermediate constant	3.1.7 b)
s_Y^2	Variance of Y	3.1.7 a)
s_I^2	Weighted mean of s_{1i}^2	3.1.4
$(s_I^2)_a$	Adjusted value of s_{12}	3.1.6 b)
s_{1i}^2	Estimate of variance within set of specimens exposed at ϑ_i	3.1.1
s_2^2	Variance about regression line	3.1.4
t	Student distributed stochastic variable	3.1.7a)
t_f	Value of time to end-point selected for estimation	3.1.7b)
t_{ij}	Time to end-point of j 'th specimen exposed at ϑ_i	2.2
t_{im}	Highest time to end-point included in calculation	2.2
TC	Lower 95 % confidence limit of TI	3.1.8
TC _a	Adjusted value of TC	3.1.8
TI	Temperature index	3.1.8

Symboles		Paragraphes
IT_a	Valeur ajustée de IT	2.4.3
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	3.1.8
x	Variable indépendante: inverse de la température thermodynamique	2.2
X	Valeur de x pour une valeur spécifiée de y à partir de l'équation de régression	3.1.7 b)
X_c	Limite supérieure de confiance 95 % sur X	3.1.7 b)
x_i	Inverse de la température thermodynamique correspondant à ϑ_i	2.2
$\bar{x}$	Valeur moyenne de x_i	3.1.2
y	Variable dépendante: logarithme du temps jusqu'au point limite	2.2
Y	Valeur de y pour une valeur spécifiée de x à partir de l'équation de régression	3.1.7 b)
Y_c	Limite inférieure de confiance 95 % sur Y	3.1.7 a)
Y_i	Valeur de y dans l'équation de régression pour $x = x_i$	3.1.4
y_{ij}	Valeur de y correspondant à t_{ij}	2.2
$\bar{y}_i$	Estimation de la moyenne de y à ϑ_i	3.1.1
$\bar{y}$	Valeur moyenne de $\bar{y}_i$	3.1.2
α	Coefficient pour l'estimation de la variance dans le cas de données incomplètes	3.1.1
β	Coefficient pour l'estimation de la variance dans le cas de données incomplètes	3.1.1
ϵ	Coefficient pour l'estimation de la variance de l'estimation de la moyenne dans le cas de données incomplètes	3.1.4
ϑ	Température en °C	2.2
ϑ_c	Limite inférieure de confiance de 95 % sur la température correspondant à X_c	3.1.7 b)
ϑ_i	Température d'exposition en °C	2.2
μ	Coefficient pour l'estimation de la moyenne dans le cas de résultats incomplets	3.1.1
$\mu_2(x)$	Moment centré d'ordre 2 des valeurs x_i	3.1.4
χ^2	Variable stochastique distribuée suivant la loi χ^2	3.1.5
χ_0^2	Valeur tabulée de χ^2	3.1.5

Symbol		Sub-clause
TI_a	Adjusted value of TI	2.4.3
TI_g	Temperature index obtained by graphical means or without confidence limits	3.2
TI_{10}	Temperature index at 10 kh	3.1.8
x	Independent variable: reciprocal of thermodynamic temperature	2.2
X	Value of x at specified value of y from regression equation	3.1.7b)
X_c	Upper 95 % confidence limit on X	3.1.7b)
x_i	Reciprocal of the thermodynamic temperature corresponding to ϑ_i	2.2
$\bar{x}$	Weighted mean of x_i	3.1.2
y	Dependent variable: logarithm of time to end-point	2.2
Y	Value of y at specified value of x from regression equation	3.1.7b)
Y_c	Lower 95 % confidence limit on Y	3.1.7a)
Y_i	y -value of regression equation at $x = x_i$	3.1.4
y_{ij}	Value of y corresponding to t_{ij}	2.2
$\bar{y}_i$	Estimate of mean of y at ϑ_i	3.1.1
$\bar{y}$	Weighted mean of $\bar{y}_i$	3.1.2
α	Coefficient for estimation of variance for incomplete data	3.1.1
β	Coefficient for estimation of variance for incomplete data	3.1.1
ϵ	Coefficient for estimation of variance of estimate of mean for incomplete data	3.1.4
ϑ	Temperature in °C	2.2
ϑ_c	Lower 95 % confidence limit on temperature corresponding to X_c	3.1.7 b)
ϑ_i	Exposure temperature in °C	2.2
μ	Coefficient for estimation of mean for incomplete data	3.1.1
$\mu_2(x)$	Central second moment of x_i values	3.1.4
χ^2	χ^2 distributed stochastic variable	3.1.5
χ_0^2	Tabulated value of χ^2	3.1.5

ANNEXE B

EXEMPLE DÉVELOPPÉ

Toutes les valeurs sont indiquées avec huit chiffres significatifs, sauf dans le premier tableau de valeurs de t_{ij} et de leurs logarithmes. Les calculs indiqués ici ont été toutefois effectués avec une précision de 14 décimales et les logarithmes ont été initialement déduits avec cette précision. Celle-ci est beaucoup plus élevée qu'il n'est strictement nécessaire.

Nombre d'éprouvettes dans chaque groupe: 21

Le groupe essayé à 260 °C a donné lieu à une défaillance au cours du premier cycle et on a cependant poursuivi les essais jusqu'à la douzième défaillance. Cela a été analysé comme 11 essais sur 20.

Température d'exposition °C	240	260	280			
Valeur de x_i	$1,94932 \cdot 10^{-3}$	$1,87617 \cdot 10^{-3}$	$1,80832 \cdot 10^{-3}$			
Numéro de l'éprouvette	j	t	y	t	y	
1	1 044	3,01870	—	—	336	2,52633
2	1 044	3,01870	1 368	3,13609	336	2,52633
3	3 144	3,49748	1 368	3,13609	432	2,63548
4	3 144	3,49748	1 368	3,13609	432	2,63548
5	4 548	3,65782	1 896	3,27784	624	2,79518
6	4 548	3,65782	2 136	3,32960	624	2,79518
7	4 548	3,65782	2 136	3,32960	720	2,85733
8	5 136	3,71062	2 136	3,32960	720	2,85733
9	6 888	3,83809	2 136	3,32960	720	2,85733
10	6 888	3,83809	2 136	3,32960	816	2,91169
11	8 316	3,91991	2 832	3,45209	912	2,95999
12	—	—	2 832	3,45209	—	—
$\sum y_{ij}, j = 1 \dots m-1$		35,392638	32,786196	27,397702	Equation 1	
$\sum (y_{im} - y_{ij})^2, j = 1 \dots m-1$		2,2445421	0,40496778	0,67500617	Equation 2	
$\bar{y}_i$		3,9199144	3,4391277	2,9599948	Equation 1	
s_{li}^2		0,22256300	0,036344813	0,064599547	Equation 2	
μ	Annexe E	0	0,07474052	0	Equation 1	
α	Annexe E	0,125180504	0,123720203	0,125180504	Equation 2	
$\beta \times 10^3$	Annexe E	-4,10278708	-4,57177272	-4,10278708	Equation 2	
$\varepsilon \times 10^2$	Annexe E	7,32597474	(7,283429)	7,32597474	Equation 11	

APPENDIX B

WORKED EXAMPLE

All values are reported to eight significant figures, excepting in the first table of values of t_{ij} and their logarithms. The calculations reported here were, however, carried out with an internal precision of 14 digits and the logarithms were initially derived to this accuracy. This is much higher than is strictly necessary.

Number of specimens in each group: 21

The group tested at 260 °C gave a failure during the first cycle and was, therefore, continued to the 12th failure, being analysed as 11 out of 20.

Exposure temperature °C	240	260	280	
Value of x_i	$1,94932 \cdot 10^{-3}$	$1,87617 \cdot 10^{-3}$	$1,80832 \cdot 10^{-3}$	
Specimen number	j	t	y	
	1	1 044	3,01870	336
	2	1 044	3,01870	336
	3	3 144	3,49748	432
	4	3 144	3,49748	432
	5	4 548	3,65782	624
	6	4 548	3,65782	624
	7	4 548	3,65782	720
	8	5 136	3,71062	720
	9	6 888	3,83809	720
	10	6 888	3,83809	816
	11	8 316	3,91991	912
	12	-	2 832	-
$\Sigma y_{ij}, j = 1 \dots m-1$		35,392638	32,786196	27,397702
$\Sigma (y_{im} - y_{ij})^2, j = 1 \dots m-1$		2,2445421	0,40496778	0,67500617
$\bar{y}_i$		3,9199144	3,4391277	2,9599948
s_{li}^2		0,22256300	0,036344813	0,064599547
μ	Appendix E	0	0,07474052	0
α	Appendix E	0,125180504	0,123720203	0,125180504
$\beta \times 10^3$	Appendix E	-4,10278708	-4,57177272	-4,10278708
$\varepsilon \times 10^2$	Appendix E	7,32597474	(7,283429)	7,32597474

Equation 1

Equation 2

Equation 1

Equation 2

Equation 1

Equation 2

Equation 2

Equation 11

Equation	Quantité	Valeur	
3	N	33	
4	$\bar{x}$	$1,8779362 \cdot 10^{-3}$	$(\Sigma x_i = 5,6338086 \cdot 10^{-3})$
5	$\bar{y}$	3,4396790	$(\Sigma y_i = 10,319037)$
7	$\Sigma x_i \bar{y}_i$	$1,9446169 \cdot 10^{-2}$	
	Σx_i^2	$1,0589878 \cdot 10^{-5}$	
	b	6 804,9189	
8	a	-9,3395246	
10	s_1^2	0,10749000	
11	s_2^2	$2,6855295 \cdot 10^{-3}$	
14	$\mu_2(x)$	$3,3150304 \cdot 10^{-9}$	
15a	c	1,0398990	
15	χ^2	8,3700067	
16	F	0,02498193	
17a	s^2	0,10410921	
18	t	1,6930490	(Calculé de façon interne)
20d	$X_{20\ 000}$	$2,0045139 \cdot 10^{-3}$	
20	X_c	$2,0342146 \cdot 10^{-3}$	
20a	$Y_{20\ 000}$	4,3010300	
20b	b_r	6781,2528	
20c	s_r^2	0,057072991	
	$\vartheta_{20\ 000}$	225,87407	(IT)
21	ϑ_c	218,59021	(TC)
	$\vartheta_{10\ 000}$	237,13204	
	IDC	11,257977	
	0,6 IDC	7,0666924	
	$\vartheta_c + 0,6 IDC$	225,65691	(Correction de dispersion)

Equation	Quantity	Value	
3	N	33	
4	$\bar{x}$	$1,8779362 \cdot 10^{-3}$	$(\Sigma x_i = 5,6338086 \cdot 10^{-3})$
5	$\bar{y}$	3,4396790	$(\Sigma y_i = 10,319037)$
7	$\Sigma x_i \bar{y}_i$	$1,9446169 \cdot 10^{-2}$	
	Σx_i^2	$1,0589878 \cdot 10^{-5}$	
	b	6 804,9189	
8	a	-9,3395246	
10	s_1^2	0,10749000	
11	s_2^2	$2,6855295 \cdot 10^{-3}$	
14	$\mu_2(x)$	$3,3150304 \cdot 10^{-9}$	
15a	c	1,0398990	
15	χ^2	8,3700067	
16	F	0,02498393	
17a	s^2	0,10410921	
18	t	1,6930490	(Calculated internally)
20d	$X_{20\,000}$	$2,0045139 \cdot 10^{-3}$	
20	X_c	$2,0342146 \cdot 10^{-3}$	
20a	$Y_{20\,000}$	4,3010300	
20b	b_r	6781,2528	
20c	s_r^2	0,057072991	
	$\vartheta_{20\,000}$	225,87407	(TI)
21	ϑ_c	218,59021	(TC)
	$\vartheta_{10\,000}$	237,13204	
	HIC	11,257977	
	0,6 HIC	7,0666924	
	$\vartheta_c + 0,6 \text{ HIC}$	225,65691	(Dispersion correction)

Dispersion un peu excessive, corrigée

IT (IDC): 225,3 (11,3)

Limite de confiance = 218,6

$F(n, d) = 0,025 (1, 30)$

$F_0 = 4,2$

$\chi^2(f) = 8,4 (2)$

Probabilité = 0,0152

Température	Temps moyen	Variance (log)
240	8 316,0	0,222
260	2 748,7	0,0363
280	912,0	0,0646
Variance moyenne (s_1^2)		0,107

Température 240

Temps:

1044,0 1044,0 3144,0 3144,0 4548,0 4548,0 4548,0 5136,0 6888,0 6888,0 8316,0

Température 260

Temps:

1368,0 1368,0 1368,0 1896,0 2136,0 2136,0 2136,0 2136,0 2136,0 2832,0 2832,0

Température 280

Temps:

336,0 336,0 432,0 432,0 624,0 624,0 720,0 720,0 720,0 816,0 912,0

Slightly excessive dispersion, corrected

TI (HIC): 225,3 (11,3)

Confidence limit = 218,6

$F(n, d) = 0,025 (1, 30)$

$F_0 = 4,2$

$\chi^2(f) = 8,4 (2)$

Probability = 0,0152

<i>Temperature</i>	<i>Mean time</i>	<i>Variance (log)</i>
240	8 316,0	0,222
260	2 748,7	0,0363
280	912,0	0,0646
Pooled variance (s_1^2)		0,107

Temperature 240

Times:

1044,0 1044,0 3144,0 3144,0 4548,0 4548,0 4548,0 5136,0 6888,0 6888,0 8316,0

Temperature 260

Times:

1368,0 1368,0 1368,0 1896,0 2136,0 2136,0 2136,0 2136,0 2136,0 2832,0 2832,0

Temperature 280

Times:

336,0 336,0 432,0 432,0 624,0 624,0 720,0 720,0 720,0 816,0 912,0

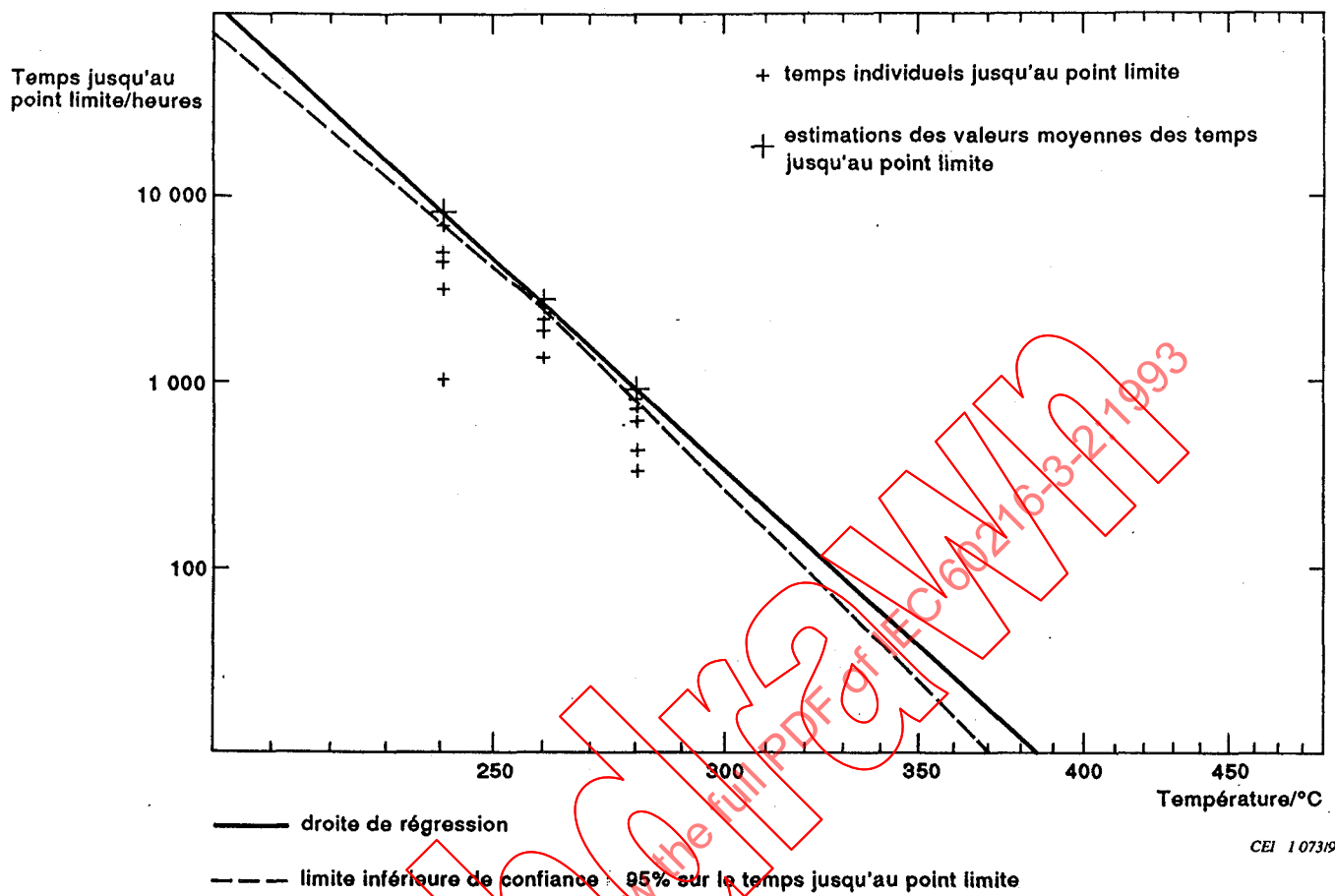


Figure B1 - Ce graphique d'endurance thermique est issu de l'exemple donné en annexe B

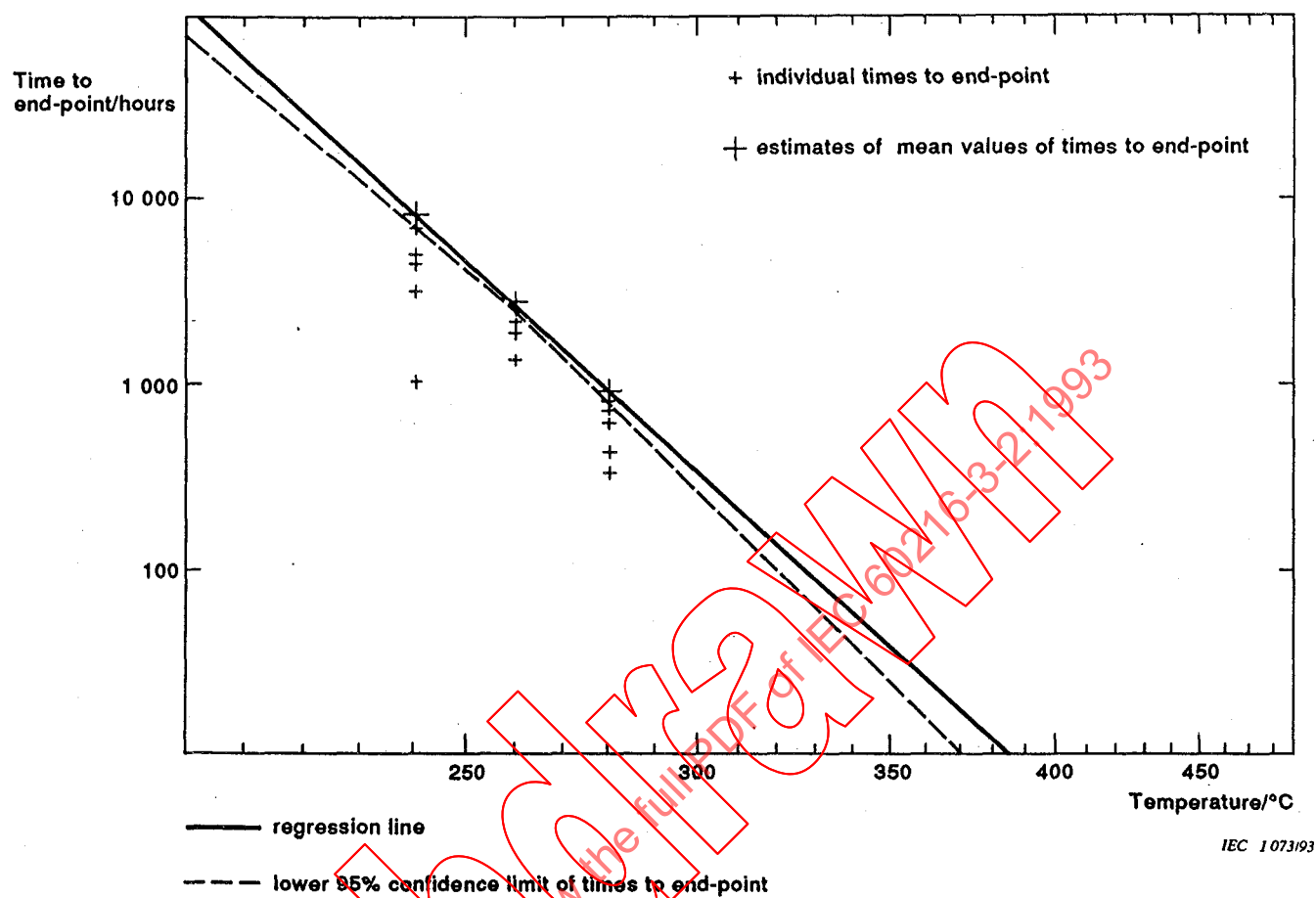


Figure B1 - This thermal endurance graph is derived from the data of the worked example in Appendix B

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

APPENDIX D

PROGRAMME BASIC
POUR DONNÉES INCOMPLÈTES

Ce programme est écrit dans le même langage BASIC que le programme de la Publication 216-3-1 de la CEI et les mêmes remarques s'y attachent.

Ce programme s'utilise pour l'analyse de données obtenues à partir de groupes d'égale grandeur d'éprouvettes vieillies à trois températures ou plus, le vieillissement devant être interrompu après la défaillance médiane de chaque groupe.

Le nom de sauvegarde du programme n'a pas d'importance car, pour le moment, il n'est pas prévu qu'il interfère directement avec un quelconque des autres programmes d'analyse d'endurance thermique.

BASIC PROGRAM
FOR INCOMPLETE DATA

This program is written in the same dialect of BASIC as the program in IEC Publication 216-3-1, and the same remarks apply.

The program is intended for the analysis of data obtained from equal sized groups of specimens aged at three or more temperatures, the ageing being terminated after the median failure in each group.

The name by which the program is saved is not critical, since it is not at present intended that it will interact directly with any of the other thermal endurance analysis programs.

```

10 SCREEN 0:CLS:PRINT TAB(35) "IEC 216-3-3"
20 PRINT:PRINT"This program is for analysis of thermal endurance data obtained
  by cyclic"
30 PRINT"proof tests up to the median failure. The sizes of the temperature gr
  ups"
40 PRINT"must be the same, but the case of a failure in the first cycle, which
  must"
50 PRINT"be omitted from the calculations, is catered for."
60 DATA 640,200
70 KEY OFF:READ WD%,HT%
80 PRINT:PRINT:PRINT"Input may be from an existing disc file (D) or by direct
  entry from the"
90 PRINT"keyboard (K). Please press either K or D."
100 DEFDBL G,H,S,T,X,Y,P:DEFINT I-N
110 DEF FNFI(TIME)=FNTEMPERATURE(FNX2(LOG(TIME)/LOG(10)))
120 DEF FNYC(X)=A#+B#*X-FNST(M*K)*SQR(S*(1+K*(X-SX/K)^2/SB)*E#)
130 DEF FNFX2(Y)=(Y-A#)/B#
140 DEF FNFX1(TEMPERATURE)=1/(TEMPERATURE+T0)
150 DEF FNTEMPERATURE(X)=1/X-T0
160 DEF FNSR(TIME)=SQR(S*(BR#/B#+(FNFX2(LOG(TIME)/LOG(10))-SX/K)^2/(SB/K))*E#)
170 DEF FNXC(TIME)=SX/K+(LOG(TIME)/LOG(10)-SY/K)/BR#+FNST(N)*FNSR(TIME)/BR#
180 DEF FNST(N)=1.6282+.0001688*(N-2)+1.8481/(N-2)
190 DEF FNY(X)=A#+B#*X
200 DEF FNFO(N1,N2)=1.9993/N1+10.468/N2+1.8718
210 DEF FNU$(A$)=CHR$(ASC(A$) AND 223)
220 DEF FNA$(A$)=CHR$(((A$=CHR$(0)+CHR$(72)) AND 30) OR ((A$=CHR$(0)+CHR$(80))
  AND 31) OR ((A$=CHR$(0)+CHR$(77)) AND 28) OR ((A$=CHR$(0)+CHR$(75)) AND 29)
  OR (A$=CHR$(13)) AND 13)

```

```

230 ENTRY$="":WHILE ENTRY$<>"D" AND ENTRY$<>"K":ENTRY$="":WHILE ENTRY$="":ENTRY$
=INKEY$:WEND:ENTRY$=FNU$(ENTRY$):WEND
240 IF ENTRY$="D" THEN 1890
250 'Keyboard entry
260 '*****
270 CLS:INPUT"Enter the required number of test temperatures ",K
280 INPUT"Enter the number of specimens in a group ",L
290 IF L MOD 2 THEN M=(L+1)/2 ELSE M=L/2+1
300 DIM N(K), TEMPERATURE(K), X(K), S1(K), SY(K), SSY(K), TIME(K,M), Y(K,M),
B#(5),N1(3),GA(3),GB(3),GM(3),GE(3),MEAN#(K)
310 FOR I=1 TO K
320 PRINT"Enter temperature";I;:INPUT" ",TEMPERATURE(I)
330 PRINT"First cycle failure Y/N?";:A$="":WHILE A$<>"Y" AND A$<>"N":A$="":WHILE
A$="":A$=INKEY$:WEND:A$=FNU$(A$):WEND
340 PRINT " ";A$:IF A$="Y" THEN N(I)=L-1 ELSE N(I)=L
350 FOR J=1 TO M
360 PRINT"Enter time to failure for sample";J;"; if same as last, press RETURN";
370 INPUT",TIME(I,J):IF TIME(I,J)=0 THEN TIME(I,J)=TIME(I,J-1)
380 NEXT:NEXT
390 INPUT"Enter the filename for data saving ",FILENAME$
400 'Data review for editing
410 '*****
420 FOR I=1 TO K
430 IF N(I)<L THEN FIRST$=" Y" ELSE FIRST$=" N"
440 CLS:PRINT"Temperature";TAB(26) TEMPERATURE(I)
450 PRINT"First cycle failure";TAB(20) FIRST$
460 PRINT"Times";:FOR J=1 TO M
470 IF J>8 THEN X=41:Y=J-6 ELSE X=26:Y=J+2
480 LOCATE Y,X:PRINT TIME(I,J)
490 NEXT
500 LOCATE 22,1:PRINT"Do you wish to correct any value, Y/N ?"
510 A$="":WHILE A$="":A$=INKEY$:WEND:A$=FNU$(A$):IF A$="Y" THEN 1650
520 NEXT
530 CLS
540 'Primary calculation
550 '*****
560 RESTORE 3410
570 M1=0:WHILE M1<>M:READ M1:IF M1<>M THEN READ N1,Z,Z,Z,Z:WEND
580 FOR I=1 TO 3:READ N1(I),GA(I),GB(I),GM(I),GE(I)
590 READ J
600 NEXT
610 PRINT"Calculating ",FILENAME$:T0=273:N=K:FOR I=1 TO K:X(I)=FNX1(TEMPERATURE
(I))
620 FOR J=1 TO M:Y(I,J)=LOG(TIME(I,J))/LOG(10)
630 NEXT:NEXT
640 IF L MOD 2 THEN E#=GE(3) ELSE E#=GE(2)
650 FOR I=1 TO K
660 FOR J=1 TO 3
670 IF N1(J)=N(I) THEN A#=GA(J):B#=GB(J):M#=GM(J)
680 NEXT
690 FOR J=1 TO M-1
700 SY(I)=SY(I)+Y(I,J):SSY(I)=SSY(I)+(Y(I,M)-Y(I,J))^2
710 NEXT
720 MEAN#(I)=(1-M#)*Y(I,M)+M#*SY(I)/(M-1)
730 S1(I)=A#*SSY(I)+B#*((M-1)*Y(I,M)-SY(I))^2
740 SX=SX+X(I):SSX=SSX+X(I)^2:SPXY=SPXY+X(I)*MEAN#(I)
750 SY=SY+MEAN#(I):SSY=SSY+MEAN#(I)^2
760 NEXT
770 B#=(SPXY-SY*SX/K)/((SSX-SX^2/K)
780 A#=(SY-B#*SX)/K
790 M1#=CDBL(M)
800 FOR I=1 TO K

```

```

810 S1=S1+S1(I)
820 G=G+1/M1#
830 H=H+(M1#-1)*LOG(S1(I))
840 NEXT
850 S1=S1/K
860 CHI.SQUARED#=(K*(M-1)*LOG(S1)-H)/(1+(G-1/K/(M-1))/3/(K-1))
870 GOSUB 2690
880 S2=((SSY-SY^2/K)-B#*(SPXY-SX*SY/K))/E#/(K-2):F=S2/S1:F0=FNFO(K-2,M*K-K)
890 SB=SSX-SX^2/N
900 IF F>F0 THEN FLAG(3)=-1:F1=F/F0 ELSE FLAG(3)=0:F1=1
910 S=E#*((M-1)*K*S1*F1+(K-2)*S2)/(M*K-2)
920 BR#=B#-E#*FNST(M*K)^2*S/B#/SB
930 TIME=20000
940 HIGH.X=0:FOR I=1 TO K
950 IF X(I)>HIGH.X THEN HIGH.X=X(I):LOWEST=I
960 NEXT
970 GOSUB 1080 'for flag setting
980 Y1=5:Y2=1
990 X1=FNX1(10*INT(TI/10)-20):X2=X1-.0008
1000 SCALESTART=CINT(10*INT(TI/10)-10)
1010 SCALE.END=CINT(10*(INT(FNTEMPERATURE(X2)/10)))
1020 IF HIC>15 THEN INTERVAL=20 ELSE INTERVAL=10
1030 GOSUB 1200 'short report
1040 GOTO 2420 'for menu of further actions
1050 END
1060 'Statistical tests
1070 '*****
1080 TI=FNTI(TIME):TC=FNTEMPERATURE(FNXC(TIME))
1090 HIC=FNTI(TIME/2)-FNTI(TIME)
1100 EXTRAPOLATION=FNTEMPERATURE(HIGH.X)-TI
1110 IF EXTRAPOLATION>25 THEN FLAG(1)=-1 ELSE FLAG(1)=0
1120 LONGEST.MEAN.TIME=10^(MEAN#(LOWEST))
1130 IF LONGEST.MEAN.TIME<TIME/4 THEN FLAG(2)=-1 ELSE FLAG(2)=0
1140 DISPERSION=(TI-TC)/HIC
1150 IF DISPERSION>1.6 THEN FLAG(5)=-1 ELSE FLAG(5)=0
1160 IF DISPERSION>.6 THEN FLAG(4)=-1 ELSE FLAG(4)=0
1170 RETURN
1180 'report results according to statistical tests
1190 '*****
1200 CLS:IF FLAG(1) OR FLAG(2) OR FLAG(5) OR (FLAG(3) AND FLAG(4)) THEN GOSUB
1260 :RETURN
1210 IF FLAG(3) THEN PRINT"Minor non-linearity":PRINT
1220 IF FLAG(4) THEN PRINT"Slightly excessive dispersion, corrected":PRINT:RESULT
=TC+.6*HIC ELSE RESULT=TI
1230 PRINT"TI (HIC) : ";:PRINT USING "###.##";RESULT;:PRINT"(:";:PRINT USING"###.##"
;HIC;:PRINT")":PRINT:PRINT
1240 PRINT"Confidence limit = ";:PRINT USING "###.##";TC
1250 RETURN
1260 PRINT"Full TI cannot be reported.":PRINT
1270 IF FLAG(1) THEN PRINT"Extrapolation = ";:PRINT USING "###.##";EXTRAPOLA-
TION:PRINT
1280 IF FLAG(2) THEN PRINT"Longest mean time to end point = ";:PRINT USING "####"
;LONGEST.MEAN.TIME:PRINT
1290 IF FLAG(3) THEN PRINT"Failed F-test : F = ";:PRINT USING "####.##";F;:PRINT
, F0 = ";:PRINT USING "###.##";F0:PRINT
1300 IF FLAG(5) THEN PRINT"Excessive dispersion.":PRINT
1310 PRINT:PRINT"TI = ";:PRINT USING"###.##";TI:PRINT"HIC = ";:PRINT USING "###.##"
;HIC
1320 RETURN
1330 'graphics - thermal endurance graph
1340 '*****
1350 SCREEN 2:XRANGE=X1-X2:YRANGE=Y2-Y1

```