

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE  
NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION  
IEC STANDARD

**Publication 172**

Deuxième édition — Second edition

1981

---

**Méthode d'essai pour la détermination de l'indice  
de température des fils de bobinage émaillés**

---

**Test procedure for the determination of the temperature  
index of enamelled winding wires**

---



© CEI 1981

Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembé  
Genève, Suisse

## Révision de la présente publication

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

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

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

## Terminologie

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

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

## Symboles graphiques et littéraux

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

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

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

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

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

## Revision of this publication

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

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

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

## Terminology

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

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

## Graphical and letter symbols

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

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

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

## Other IEC publications prepared by the same Technical Committee

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

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE  
NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION  
IEC STANDARD

**Publication 172**

Deuxième édition — Second edition

1981

---

**Méthode d'essai pour la détermination de l'indice  
de température des fils de bobinage émaillés**

---

**Test procedure for the determination of the temperature  
index of enamelled winding wires**

---

**Mots clés:** fils de bobinage;  
fils émaillés circulaires;  
méthodes d'essai thermiques

**Key words:** winding wires;  
circular enamelled wires;  
thermal methods of testing.



© CEI 1981

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

1, rue de Varembe  
Genève, Suisse

## SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE .....	4
PRÉFACE .....	4
Articles	
1. Domaine d'application .....	8
2. Objet .....	8
3. Terminologie .....	10
4. Résumé du mode opératoire .....	10
5. Eprouvettes d'essai .....	10
6. Température d'exposition .....	14
7. Tension d'épreuve et son application .....	16
8. Calculs .....	18
9. Rapport .....	22
FIGURES .....	24
ANNEXE A — Méthode de calcul simplifiée pour le calcul de la droite de régression .....	30
ANNEXE B — Coefficient de corrélation .....	40

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60172:1981

---

## CONTENTS

	Page
FOREWORD .....	5
PREFACE .....	5
Clause	
1. Scope .....	9
2. Object .....	9
3. Definition of terms .....	11
4. Summary of procedure .....	11
5. Test specimens .....	11
6. Temperature exposure .....	15
7. Test voltage and its application .....	17
8. Calculations .....	19
9. Report .....	23
FIGURES .....	24
APPENDIX A — Simplified method for calculation of the regression line .....	31
APPENDIX B — Correlation coefficient .....	41

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60172:1981

---

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**MÉTHODE D'ESSAI POUR LA DÉTERMINATION  
DE L'INDICE DE TEMPÉRATURE DES FILS DE BOBINAGE ÉMAILLÉS**

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 DE LA PREMIÈRE ÉDITION

Cette recommandation a été établie par le Comité d'Etudes n° 15 de la CEI: Matériaux isolants.

La rédaction de cette publication avait été commencée pendant la réunion de Philadelphie en 1954. A la suite de la réunion tenue à Västerås en 1958, un projet fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en mai 1959.

Une rectification à ce projet fut soumise à l'approbation des Comités nationaux selon la Procédure des Deux Mois en mai 1962.

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

Afrique du Sud (République d')	Italie
Allemagne	Japon
Autriche	Pays-Bas
Belgique	Pologne
Canada	Roumanie
Danemark	Royaume-Uni
Etats-Unis d'Amérique	Suède
Finlande	Suisse
France	Tchécoslovaquie
Israël	Union des Républiques Socialistes Soviétiques

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**TEST PROCEDURE FOR THE DETERMINATION  
OF THE TEMPERATURE INDEX OF ENAMELLED WINDING WIRES**

## 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 TO THE FIRST EDITION

This recommendation has been prepared by IEC Technical Committee No.15: Insulating Materials.

The work was started during the meeting in Philadelphia, in 1954. As a result of the meeting held in Västerås, in 1958, a draft was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in May 1959.

An amendment to this draft was circulated to the National Committees for approval under the Two Months' Procedure in May 1962.

The National Committees of the following countries voted explicitly in favour of publication:

Austria	Japan
Belgium	Netherlands
Canada	Poland
Czechoslovakia	Romania
Denmark	South Africa (Republic of)
Finland	Sweden
France	Switzerland
Germany	Union of Soviet Socialist Republics
Israel	United Kingdom
Italy	United States of America

## PRÉFACE À LA DEUXIÈME ÉDITION

La présente norme a été établie par le Comité d'Etudes n° 55 de la CEI: Fils de bobinage.

Des projets furent discutés lors de la réunion tenue à Londres en 1974. A la suite de cette réunion, un projet, document 55(Bureau Central)169, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en juillet 1975. Lors de la réunion tenue à Nice en 1976, il fut décidé, étant donné la nature fondamentale de la modification concernant la suppression d'un seul essai, qu'un autre projet serait diffusé suivant la Règle des Six Mois. Aussi un projet révisé, document 55(Bureau Central)193, fut-il soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en mars 1977.

Les Comités nationaux des pays ci-après se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

Afrique du Sud (République de)	France
Allemagne	Japon
Australie	Pays-Bas
Autriche	Pologne
Belgique	Roumanie
Brésil	Royaume-Uni
Canada	Suède
China	Tchécoslovaquie
Danemark	Turquie
Egypte	Union des Républiques
Espagne	Socialistes Soviétiques
Etats-Unis d'Amérique	

*Autres publications de la CEI citées dans la présente norme:*

- Publications n°s 216-1. Guide pour la détermination des propriétés d'endurance thermique de matériaux isolants électriques. Première partie: Méthodes générales pour la détermination des propriétés d'endurance thermique, des indices de température et des profils d'endurance thermique.
- 216-3. Troisième partie: Méthodes statistiques.

## PREFACE TO THE SECOND EDITION

This standard has been prepared by IEC Technical Committee No. 55: Winding Wires.

Drafts were discussed at the meeting held in London in 1974. As a result of this meeting, a draft, Document 55(Central Office)169, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in July 1975. At the meeting held in Nice in 1976, it was decided that, in view of the basic nature of the modification concerning deletion of the single point test, a revised draft should be circulated under the Six Months' Rule. Accordingly, a revised draft, Document 55(Central Office)193, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in March 1977.

The National Committees of the following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Japan
Austria	Netherlands
Belgium	Poland
Brazil	Romania
Canada	South Africa (Republic of)
China	Spain
Czechoslovakia	Sweden
Denmark	Turkey
Egypt	Union of Soviet Socialist Republics
France	United Kingdom
Germany	United States of America

*Other IEC publications quoted in this standard:*

- Publications Nos. 216-1: Guide for the Determination of Thermal Endurance Properties of Electrical Insulating Materials, Part 1: General Procedures for the Determination of Thermal Endurance Properties, Temperature Indices and Thermal Endurance Profiles.  
216-3. Part 3: Statistical Methods.

## MÉTHODE D'ESSAI POUR LA DÉTERMINATION DE L'INDICE DE TEMPÉRATURE DES FILS DE BOBINAGE ÉMAILLÉS

### 1. Domaine d'application

Cette procédure d'essai spécifie, conformément aux dispositions de la Publication 216-1 de la CEI: Guide pour la détermination des propriétés d'endurance thermique de matériaux isolants électriques, une méthode pour la détermination de l'indice de température des fils de bobinage émaillés de section circulaire. Elle n'est pas applicable aux fils de section rectangulaire ni aux fils à revêtement fibreux.

Afin d'éviter l'emploi d'éprouvettes trop fragiles, l'expérience a montré qu'il était généralement préférable d'employer des fils de dimensions comprises entre 0,8 mm et 1,5 mm pour cet essai.

### 2. Objet

Cette procédure d'essai a pour objet de déterminer l'endurance thermique des fils émaillés de section circulaire dans l'air à la pression atmosphérique. L'endurance thermique, caractérisée par l'Indice de Température, est spécifiée dans la plupart des feuilles de caractéristiques pour fils émaillés. Les résultats obtenus sur les caractéristiques à long terme des fils de bobinage émaillés fournissent à l'ingénieur d'étude et de développement les informations permettant le choix des matériaux des fils de bobinage en vue d'une évaluation ultérieure dans les systèmes isolants et dans les essais d'équipement.

Cette procédure d'essai ne concerne que l'évaluation de l'endurance thermique appréciée par l'évolution de la tension de claquage; pour évaluer les changements des autres propriétés, d'autres procédures d'essai sont nécessaires.

L'exposition de quelques types de fils émaillés à la chaleur dans une ambiance gazeuse ou liquide en l'absence d'air peut donner des caractéristiques d'endurance thermique différentes de celles obtenues dans l'air. Ce fait doit être pris en considération lorsqu'on interprète les résultats obtenus par chauffage dans l'air, sans perdre de vue les applications où le fil n'y sera pas exposé en service. Des dimensions autres que celles spécifiées dans l'article 15 relatif à l'endurance thermique de la spécification particulière peuvent donner des caractéristiques d'endurance thermique différentes. Le métal du conducteur en contact avec l'émail peut affecter les caractéristiques d'endurance thermique.

La bonne adaptation ou compatibilité d'un vernis d'imprégnation et de l'émail peut aussi être vérifiée et des indices de température des associations peuvent être comparés grâce à cette méthode.

Les contraintes électriques appliquées pendant des périodes de longue durée à un niveau supérieur ou voisin de la tension d'apparition de décharges peuvent modifier de façon significative l'endurance thermique des fils de bobinage émaillés imprégnés ou non imprégnés. Sous de telles contraintes, les comparaisons entre divers matériaux peuvent aussi être différentes de celles obtenues en partant de cette méthode.

Il convient de préciser que l'Indice de Température déterminé par cette méthode est le nombre correspondant à la température en degrés Celsius à laquelle la droite de régression coupe la droite des 20 000 h. La température en degrés Celsius correspondant à l'Indice de Température n'est pas nécessairement celle sous laquelle il est recommandé de se servir du fil. Cela dépend de nombreux facteurs, dont le type d'équipement considéré.

## TEST PROCEDURE FOR THE DETERMINATION OF THE TEMPERATURE INDEX OF ENAMELLED WINDING WIRES

### 1. Scope

This test procedure specifies, in accordance with the provisions of IEC Publication 216-1: Guide for the Determination of Thermal Endurance Properties of Electrical Insulating Materials, a method for evaluating the Temperature Index of round enamelled winding wires. It is not applicable to rectangular winding wires or to fibre-insulated winding wires.

In order to avoid undue fragility of the test specimens, experience has shown that sizes from 0.8 mm to 1.5 mm are generally found convenient to handle and test.

### 2. Object

This test procedure is to determine the thermal endurance of enamelled round wires in air at atmospheric pressure. The thermal endurance, characterized by Temperature Index, is specified in most performance specifications for enamelled wires. The data obtained on the long-term characteristics of enamelled winding wires also provide the designer and development engineer with information for the selection of winding wire for further evaluation in insulation systems and equipment tests.

This test procedure covers only the evaluation of thermal endurance by changes in electric strength; to evaluate the changes of other properties, further test procedures are needed.

Exposure of some types of enamelled wire to heat in gaseous or liquid environments in the absence of air may give thermal endurance characteristics different from those obtained in air. This fact shall be considered when interpreting the results obtained by heating in air with respect to applications where the wire will not be exposed to air in service. Sizes other than those specified in Clause 15 of the relevant specification sheet dealing with thermal endurance may give different thermal endurance characteristics. The conductor material in contact with the enamel insulation may affect the thermal endurance characteristics.

The suitability or compatibility of an insulating varnish with enamel insulation can also be tested and temperature indices of combinations can be compared by using this method.

Electric stress applied for extended periods at a level exceeding or even approaching the discharge inception voltage may significantly change the thermal endurance of enamelled winding wires, varnished or unvarnished. Under such electric stress conditions, comparisons between materials may also differ from those developed using this method.

It should be made clear that the Temperature Index determined by this method is the number corresponding to the temperature in degrees Celsius at which the regression line intersects the 20 000 h line. The temperature in degrees Celsius corresponding to the Temperature Index is not necessarily that at which the wire is recommended to be operated. This depends on many factors, including the type of equipment involved.

Des facteurs d'ambiance, tels que l'humidité, la contamination chimique et les contraintes mécaniques ou vibrations, sont des facteurs qui peuvent provoquer une défaillance après que le fil émaillé a été affaibli par dégradation thermique; il est plus approprié d'évaluer ces facteurs au cours d'essais sur le système d'isolation.

### 3. Terminologie

#### *Indice de Température*

Le nombre correspondant à la température en degrés Celsius dérivé du graphique d'endurance thermique à 20 000 h calculé par l'équation (6) de l'annexe A.

#### *Durée de la vie de l'éprouvette*

Le temps en heures à la température d'exposition pendant lequel une éprouvette résiste à l'essai diélectrique (voir paragraphe 8.1).

#### *Temps jusqu'à défaillance*

Temps en heures calculé d'après les durées de vie d'un groupe d'éprouvettes soumises à une température d'exposition conformément au paragraphe 8.2.

### 4. Résumé du mode opératoire

Un groupe d'éprouvettes conformes à l'article 5 est soumis à un cycle d'essais. Ce cycle comprend une période de maintien à la chaleur à une température donnée dans l'article 6, suivie par une épreuve sous tension à la température ambiante conformément à l'article 7.

On répète le cycle jusqu'à ce qu'on obtienne un nombre suffisant d'éprouvettes défaillantes et le temps jusqu'à défaillance est calculé conformément à l'article 8. Cet essai est réalisé à trois températures au moins. Une droite de régression est calculée conformément au paragraphe 8.4 et les temps jusqu'à défaillance sont reportés sur un graphique d'endurance thermique en fonction de la température d'exposition.

La température, en degrés Celsius, correspondant au point d'intersection de la droite de régression avec l'ordonnée d'endurance à 20 000 h représente l'indice de température du fil de bobinage essayé.

### 5. Eprouvettes d'essai

#### 5.1 Préparation

- a) Une longueur de fil d'environ 400 mm est torsadée sur elle-même, sur une distance de 125 mm avec l'appareil indiqué à la figure 1, page 24; la force exercée sur les brins pendant la torsion et le nombre de tours sont donnés dans le tableau I.

Environmental factors such as moisture, chemical contamination, and mechanical stresses, or vibration are factors that may result in failure after the enamelled wire has been weakened by thermal deterioration and are more appropriately evaluated in insulation system tests.

### 3. Definition of terms

#### *Temperature Index*

The number corresponding to the temperature in degrees Celsius derived from the thermal endurance graph at 20 000 h as calculated by equation (6) of Appendix A.

#### *Specimen failure time*

The hours at the exposure temperature that have resulted in a specimen failing the proof test (see Sub-clause 8.1).

#### *Time to failure*

The hours to failure calculated from the specimen failure times for a set of specimens at one exposure temperature in accordance with Sub-clause 8.2.

### 4. Summary of procedure

A set of specimens in accordance with Clause 5 is subjected to a testing cycle. This cycle consists of a heat-storing period at a temperature given in Clause 6 followed by a proof voltage test at room temperature in accordance with Clause 7.

This cycle is repeated until a sufficient number of specimens has failed and the time to failure is calculated in accordance with Clause 8. The test is carried out at three or more temperatures. A regression line is calculated in accordance with Sub-clause 8.4 and the time to failure values plotted on thermal endurance graph paper as a function of the exposure temperature.

The temperature, in degrees Celsius, corresponding to the point of intersection of the regression line with the ordinate of 20 000 h endurance represents the Temperature Index of the winding wire under test.

### 5. Test specimens

#### 5.1 Preparation

- a) A piece of wire approximately 400 mm in length shall be twisted together for a distance of 125 mm with a device as shown in Figure 1, page 24. The force (weight) applied to the wire pair while being twisted and the number of twists are given in Table I.

TABLEAU I

*Force et nombre de tours des éprouvettes*

Diamètre nominal (mm)		Force totale appliquée sur les deux fils (N)	Nombre de tours par 125 mm
De	Jusqu'à et y compris		
0,10	0,25	0,85	33
0,25	0,35	1,70	23
0,35	0,50	3,40	16
0,50	0,75	7,00	12
0,75	1,05	13,50	8
1,05	1,50	27,00	6
1,50	2,15	54,00	4
2,15	3,50	108,00	3

- b) Les séparateurs peuvent être préparés suivant la figure 2, page 25. On peut utiliser des matériaux isolants, thermiquement stables, tels que la céramique ou les stratifiés silicone – fibre de verre. Les séparateurs sont marqués d'une lettre ou d'un numéro de code.
- c) Les éprouvettes peuvent être mises en forme dans un gabarit dont un dessin est donné à la figure 3, page 25. Un séparateur est placé entre les fils de sortie de la torsade et poussé jusqu'à la butée, comme il est montré à la figure 4, page 26. Les fils de sortie sont repliés parallèlement entre eux de façon à maintenir le séparateur en place. Les séparateurs ne sont pas nécessaires si un porte-éprouvettes est utilisé.
- d) La boucle à l'extrémité de la section torsadée est coupée en deux endroits (et non un seul) afin d'obtenir un espacement maximal entre les extrémités coupées (figure 5, page 26). A cette extrémité ou à l'extrémité non torsadée, les fils sont recourbés de manière à assurer un écartement approprié entre eux et de façon à éviter toute courbure aiguë et toute détérioration de l'isolation.
- e) Pour assurer l'homogénéité du lot d'éprouvettes, il est recommandé de les soumettre à une tension d'épreuve qui correspond à trois fois la valeur donnée dans le tableau III pendant 1 s.

## 5.2 Imprégnation

L'expérience a montré que les fils émaillés et les vernis ou résines isolants pouvaient avoir une action réciproque au cours du vieillissement thermique. L'interaction entre vernis ou résine et émail peut conférer à l'ensemble fil émaillé-verniss d'imprégnation une durée de vie supérieure ou inférieure à celle du fil émaillé essayé isolément. La présente méthode d'essai peut donner des indications sur l'endurance thermique d'un ensemble de fil émaillé et de vernis ou résine d'imprégnation.

Le vernis est à diluer avec un solvant approprié pour obtenir l'épaisseur de revêtement désirée. Les éprouvettes torsadées sont plongées de façon à recouvrir le séparateur pendant 30 s au minimum puis lentement retirées à une vitesse uniforme d'environ 100 mm/min. Les éprouvettes sont alors mises à l'étuve à la température et pendant le temps recommandés par le fabricant de vernis. Si l'utilisation l'exige ou si des comparaisons spécifiques sont faites entre des vernis, les éprouvettes doivent normalement être replongées dans le vernis et mises dans l'autre sens, dans l'étuve. Les vernis doivent être dilués séparément de manière à fournir la même épaisseur de revêtement. On a noté que deux applications de vernis, plongées et étuvées dans les deux sens, fournissent un revêtement plus uniforme et des valeurs plus cohérentes.

TABLE I

*Force and number of twists for specimens*

Nominal diameter (mm)		Force applied to wire pairs (N)	Number of twists per 125 mm
Over	Up to and including		
0.10	0.25	0.85	33
0.25	0.35	1.70	23
0.35	0.50	3.40	16
0.50	0.75	7.00	12
0.75	1.05	13.50	8
1.05	1.50	27.00	6
1.50	2.15	54.00	4
2.15	3.50	108.00	3

- b) Spacers may be prepared as shown in Figure 2, page 25. Such thermally stable insulating materials as ceramic or silicone glass fibre laminate may be used. The spacers are marked with a suitable identifying letter or number.
- c) The test specimens may be shaped in a jig, an engineering drawing of which is shown in Figure 3, page 25. A specimen is placed in the jig and a spacer, placed on the parallel leads of the twisted pair, is brought up to the face of the jig as shown in Figure 4, page 26. The leads are then bent parallel to hold the spacer in position. The forming jig provides more uniform test specimens. If a specimen holder is used, the spacers are unnecessary.
- d) The loop at the end of the twisted section shall be cut at two places (not one) to provide the maximum spacing between the cut ends as shown in Figure 5, page 26. Any bending of the wires, at this end or the other untwisted end, to ensure adequate separation between the wires shall avoid sharp bends or damage to the insulation.
- e) In order to ensure homogeneity of the batch of test specimens, it is recommended that test specimens be subjected to a test voltage three times the value given in Table III for a period of 1 s.

## 5.2 Varnish impregnation

Experience has shown that enamelled wire and electrical insulating varnishes or resins can affect one another during the thermal ageing process. Interaction between varnish or resin and enamel may increase or decrease the relative thermal life of the varnish and enamelled wire combination compared with the life of the enamelled wire tested without varnish. This test procedure may give indications on the thermal endurance of a combination of insulating varnish or resin and enamelled wire.

The varnish should be diluted with a suitable solvent to obtain the required coating thickness. The twisted specimens are dipped to the depth to cover the spacer for not less than 30 s, then slowly withdrawn at a uniform rate of approximately 100 mm/min. The specimens are then cured for the time and at the temperature recommended by the varnish manufacturer. If the application requires it, or specific comparisons are being made between varnishes, the specimens should be reverse dipped and cured in the opposite direction. The varnishes considered shall be individually diluted in such a manner as to provide the same coating thickness. It has been noted that two applications of varnish, reverse dipped and cured provide a more uniform coating and more consistent data.

### 5.3 Nombre d'éprouvettes

La précision des résultats dépend largement du nombre d'éprouvettes vieilles à chaque température. Un nombre plus grand d'éprouvettes est nécessaire pour obtenir un degré de précision acceptable s'il y a une grande dispersion des résultats pour un groupe d'éprouvettes exposées à chaque température.

L'expérience a montré que 21 éprouvettes donnent habituellement une endurance moyenne acceptable. Un minimum de 11 éprouvettes doit être utilisé.

### 5.4 Porte-éprouvettes

On a trouvé que la manipulation individuelle des éprouvettes torsadées peut introduire des défaillances prématurées. Il est donc recommandé de placer les éprouvettes sur un support approprié comme le montre la figure 6, page 27. Le support devrait être conçu de manière à protéger les éprouvettes torsadées des dommages mécaniques externes et des déformations. Le support sera construit de façon que les extrémités des torsades le dépassent, pour réaliser les connexions nécessaires à l'essai diélectrique comme montré à la figure 7, page 27. Le support devrait être conçu pour au moins 11 éprouvettes, pour réduire le temps des manipulations.

## 6. Température d'exposition

Les températures auxquelles il est recommandé de soumettre les éprouvettes sont données dans cet article.

Les valeurs recommandées pour les températures et les durées des cycles d'exposition sont données dans le tableau II. Un cycle d'essai comporte une exposition à température élevée suivie d'une épreuve à température ambiante (20 °C à 30 °C). Les éprouvettes à l'essai seront placées directement dans les enceintes de vieillissement et retirées sans modifier la température de réglage des enceintes.

Les enceintes devraient être chauffées à la température appropriée avant que les éprouvettes soient soumises à la température d'exposition.

Les éprouvettes devraient être vieilles dans une étuve à circulation d'air forcé capable de maintenir la température des éprouvettes à la température d'exposition choisie à  $\pm 2$  °C près.

Les durées d'exposition sont choisies de manière à soumettre les éprouvettes à environ 10 cycles à chaque température avant d'atteindre le temps de défaillance.

Des valeurs d'endurance thermique obtenues sur des éprouvettes soumises en moyenne à moins de huit ou à plus de vingt cycles à la température d'exposition, ne peuvent pas être considérées comme sûres et ne devraient pas être utilisées pour l'évaluation du comportement thermique du fil émaillé. Une durée de cycle plus courte ou plus longue que celles indiquées dans le tableau peut donc être choisie pour certaines températures d'exposition, pour assurer que le nombre moyen de cycles à la détérioration tombe dans cette gamme.

Après avoir soumis les éprouvettes à un cycle particulier, le temps peut être augmenté ou réduit de façon à ajuster le nombre de cycles nécessaires pour obtenir le temps jusqu'à défaillance.

Les éprouvettes d'essai devraient être exposées à trois au moins ou mieux à quatre températures. La plus basse température d'exposition devrait conduire à un temps jusqu'à défaillance de plus de 5000 h. Une température d'exposition produisant des valeurs inférieures à 100 h est généralement considérée comme trop élevée. Les températures d'exposition ne devraient pas différer de plus de 20 °C les unes des autres. La précision de l'indice de

### 5.3 *Number of test specimens*

The accuracy of the test results depends largely upon the number of test specimens aged at each temperature. A greater number of test specimens is required to achieve an acceptable degree of accuracy if there is a wide spread in results among the specimens exposed at each temperature.

Experience has shown that 21 test specimens usually give an acceptable average endurance. A minimum of 11 specimens shall be used.

### 5.4 *Specimen holder*

It has been found that individual handling of the twisted specimens may introduce premature failures. It is, therefore, recommended that the specimens be placed in a suitable holder, as shown in Figure 6, page 27. The holder should be designed in a manner that will protect the twisted specimens from external mechanical damage and warpage. The holder will be so constructed as to allow the ends of the twist to protrude from the holder to make electrical connection for the proof testing as shown in Figure 7, page 27. The holder should be designed for at least 11 specimens to decrease handling time.

## 6. **Temperature exposure**

Recommended temperatures to which the test specimens are subjected are given in this clause.

In Table II, the recommended temperature and time of exposure in each cycle are given. A test cycle consists of exposure to a high temperature and testing at room temperature (20 °C to 30 °C). The test specimens shall be placed directly into and removed from the ageing ovens without controlling the heating or cooling rate.

The ovens should be heated to the proper temperature before the specimens are subjected to the exposure temperature.

The specimens should be aged in a forced air circulation oven which is capable of maintaining the temperature of the specimens under test within 2 °C of the selected exposure temperature.

The exposure times are selected to subject the test specimens to approximately 10 cycles at each temperature before the time to failure is reached.

Thermal endurance values obtained from test specimens subjected to an average of less than eight or more than twenty cycles at the exposed temperature may not be reliable and should not be used to predict the temperature rating of the enamelled wire. A shorter or longer cycle time than those given in the table may, therefore, be chosen for certain exposure temperatures, to ensure that the average number of cycles to failure falls within this range.

After the specimens have been subjected to a particular cycle, the time may be appropriately increased or decreased to control the number of cycles required to reach the time to failure.

Test specimens should be exposed to a minimum of three and preferably four exposure temperatures. The lowest exposure temperature should be one which results in a time to failure of more than 5000 h. An exposure temperature which results in values of less than 100 h is generally considered too high. Exposure temperatures should be not more than 20 °C apart. The accuracy of the temperature index predicted from the results will increase as the exposure

température déduit des résultats augmentera au fur et à mesure que la température d'exposition se rapprochera de la température à laquelle l'isolation sera exposée en service. La plus basse température d'exposition ne doit pas être supérieure de plus de 25 °C à l'Indice de Température prévu pour le fil émaillé.

TABLEAU II

Valeurs recommandées pour les durées d'exposition en jours par cycle \*

Exposition ou température de vieillissement (°C)	Indice de température estimé						
	105-109	120-130	150-159	180-189	200-209	220-229	240-249
320							1
310							2
300						1	4
290						2	7
280					1	4	14
270					2	7	28
260				1	4	14	49
250				2	7	28	
240				4	14	49	
230			1	7	28		
220			2	14	49		
210		1	4	28			
200		2	7	49			
190	1	4	14				
180	2	7	28				
170	4	14	49				
160	7	28					
150	14	49					
140	28						
130	49						
120							

\* Un cycle comprend une période d'exposition suivie par un essai diélectrique. Les valeurs recommandées dans le tableau II diffèrent de celles de la Publication 216 de la CEI, mais ont été jugées mieux adaptées aux fils émaillés.

### 7. Tension d'épreuve et son application

La tension d'essai est une tension alternative d'une fréquence nominale de 50 Hz ou 60 Hz et de forme sensiblement sinusoïdale, le facteur de pointe restant dans les limites de  $\sqrt{2} \pm 5\%$  (1,34 à 1,48). Le transformateur d'essai doit avoir une puissance nominale d'au moins 500 VA et le courant fourni doit avoir une forme d'onde essentiellement non déformée dans les conditions d'essai.

Pour déceler les défauts, le dispositif à maximum de courant doit fonctionner lorsqu'une intensité de 5 mA ou plus passe dans le circuit à haute tension. L'alimentation en tension d'essai doit pouvoir fournir un courant de détection de 5 mA ou plus sans présenter une chute de tension supérieure à 10%.

temperature approaches the temperature to which the insulation is exposed in service. The lowest exposure temperature shall be not more than 25 °C above the anticipated Temperature Index for the enamelled wire.

TABLE II

*Recommended exposure times in days per cycle \**

Exposure or ageing temperature (°C)	Estimated temperature index						
	105-109	120-130	150-159	180-189	200-209	220-229	240-249
320							1
310							2
300						1	4
290						2	7
280					1	4	14
270					2	7	28
260				1	4	14	49
250				2	7	28	
240				4	14	49	
230			1	7	28		
220			2	14	49		
210		1	4	28			
200		2	7	49			
190	1	4	14				
180	2	7	28				
170	4	14	49				
160	7	28					
150	14	49					
140	28						
130	49						
120							

\* A cycle consists of one ageing period followed by one proof-voltage test. The recommendations in Table II differ from those in IEC Publication 216 but have been found more suitable for enamelled wires.

## 7. Test voltage and its application

The voltage to be applied shall be an a.c. voltage and have a nominal frequency of 50 Hz or 60 Hz of an approximately sine-wave form, the peak factor being within the limits of  $\sqrt{2} \pm 5\%$  (1.34 to 1.48). The test transformer shall have a rated power of at least 500 VA and shall provide a current of essentially undistorted waveform under test conditions.

To detect failure, the overcurrent device shall operate when a current of 5 mA or more flows in the high-voltage circuit. The test voltage source shall have a capacity to supply the detection current (5 mA or more) with a maximum voltage drop of 10%.

Les éprouvettes sont retirées des étuves et refroidies à la température ambiante. Chaque éprouvette est soumise à une tension d'épreuve qui est fonction de l'épaisseur moyenne du film isolant, comme spécifié dans le tableau III.

TABLEAU III

*Tension d'essai*

Accroissement du diamètre dû à l'isolant (mm)		Tension (valeur efficace) (V)
De	Jusqu'à et y compris	
	0,015	300
0,015	0,024	300
0,024	0,035	400
0,035	0,050	500
0,050	0,070	700
0,070	0,090	1000
0,090	0,130	1200

La tension d'épreuve est appliquée aux éprouvettes pendant environ 1 s. Un temps d'application relativement court de la tension d'essai est souhaitable pour réduire l'effet corona et la fatigue du diélectrique.

Dans tous les cas, il faut prendre soin d'éviter des dommages mécaniques sur les éprouvettes. Les éprouvettes qui ne satisfont pas à l'essai diélectrique sont éliminées. Les éprouvettes restantes sont remises à l'étuve pour une autre exposition à la température.

## 8. Calculs

### 8.1 Durée de vie de l'éprouvette

La durée de vie d'une éprouvette particulière à une seule température d'exposition est déterminée en calculant le milieu de l'étendue entre les heures totales d'exposition à la température à l'issue desquelles l'éprouvette n'a pas tenu l'épreuve diélectrique, et les heures totales d'exposition du cycle précédent. Ce qui suppose que l'éprouvette aurait probablement failli à l'épreuve diélectrique en un point situé vers le centre du cycle d'exposition thermique précédent. La durée de vie d'une éprouvette est donc la somme de toutes les heures jusqu'à défaillance, moins la moitié des heures du cycle précédent.

### 8.2 Temps jusqu'à défaillance

Le temps jusqu'à défaillance d'un groupe d'éprouvettes à une seule température d'exposition peut être calculé à l'aide de la médiane ou de la moyenne logarithmique. Pour de nombreux matériaux, la valeur médiane d'endurance est statistiquement valable lorsque la répartition des durées de vie d'éprouvette suit la loi normale. Dans la plupart des cas, l'utilisation de la médiane réduira notablement la durée d'essai car l'essai s'interrompt dès l'obtention de la valeur médiane.

The test specimens are removed from the ovens and cooled to room temperature. Each specimen is subjected to a proof voltage according to the average thickness of the enamel as specified in Table III.

TABLE III  
*Proof voltage*

Increase in diameter due to the insulation (mm)		Voltage (r. m. s.) (V)
Over	Up to and including	
0.015	0.015	300
0.024	0.024	300
0.035	0.035	400
0.050	0.050	500
0.070	0.070	700
0.090	0.090	1000
	0.130	1200

The proof voltage shall be applied to the test specimens for approximately 1 s. A relatively short time of application of the test voltage is desirable to minimize the effects of corona and dielectric fatigue.

Care must be taken in all cases to avoid mechanical damaging of the test specimens. The specimens that fail the proof test are discarded and the remaining specimens returned to the oven for another temperature exposure.

## 8. Calculations

### 8.1 *Specimen failure time*

The failure time of an individual specimen at one exposure temperature is determined by calculating the mid-range between the total hours of exposure temperature in which the specimen failed the proof voltage and the total hours exposure of the previous cycle. This assumes that the specimen would have probably failed the proof voltage somewhere in the middle of the last temperature exposure cycle. Thus the specimen failure time is the sum of the total hours at the time of failure minus half the hours of the previous cycle.

### 8.2 *Time to failure*

The time to failure of a group of specimens at one exposure temperature may be calculated using either the median or the logarithmic mean. For many materials, the median endurance is statistically valid when specimen failure times are normally distributed. In most cases, the use of the median will significantly reduce testing time, since the test ceases when the median value has been obtained.

Le temps jusqu'à défaillance est calculé (à l'aide de la médiane) comme suit:

Si le nombre total d'éprouvettes d'un groupe est  $n$ , le temps jusqu'à défaillance du groupe est:

- a) si  $n$  est impair, la durée de vie d'éprouvette (voir paragraphe 8.1) de l'éprouvette de rang  $\frac{n+1}{2}$ ,
- b) si  $n$  est pair, le milieu de l'étendue entre les durées de vie (voir paragraphe 8.1) des éprouvettes de rang  $\frac{n}{2}$  et  $\frac{n+2}{2}$ .

Par exemple, si  $n$  est 12, le temps jusqu'à défaillance sera le milieu de l'étendue entre les heures d'endurance des sixième et septième éprouvettes avant défaillance. Pour des raisons pratiques, il est suggéré de prendre un nombre impair d'éprouvettes totales d'un groupe, pour utiliser la médiane comme endurance moyenne, afin de simplifier le calcul.

Le temps jusqu'à défaillance est calculé (à l'aide de la moyenne logarithmique) en divisant la somme des logarithmes des durées de vie de chaque éprouvette (voir paragraphe 8.1) par le nombre total d'éprouvettes du groupe. Le temps jusqu'à défaillance du groupe est l'antilogarithme de la moyenne logarithmique.

### 8.3 Linéarité des données

Pour éviter des extrapolations erronées (voir paragraphe 8.4), le coefficient de corrélation devrait être calculé conformément à l'annexe B, afin d'apprécier la linéarité.

Si le coefficient de corrélation  $r$  est égal ou supérieur à 0,95, les données sont considérées comme étant linéaires et les points de mesure seront pratiquement alignés. Si le coefficient de corrélation est inférieur à 0,95, les résultats sont considérés comme non linéaires et un essai supplémentaire est normalement à entreprendre à un point de température inférieur à la température précédente la plus basse.

Le nouveau point de température peut être de 10 °C inférieur au précédent point de température. Lors du nouveau calcul de l'Indice de Température et du coefficient de corrélation, un seul point de température peut être supprimé, en commençant par la plus haute température, pour chaque nouveau point de température obtenu.

Les résultats seront linéaires si la dégradation thermique du fil émaillé ou du fil émaillé verni paraît résulter d'une seule réaction chimique. La non-linéarité peut indiquer que:

- a) deux ou plus de deux réactions ayant des énergies d'activation (pentes) différentes prédominent à des températures différentes dans le domaine d'épreuve; ou
- b) que des erreurs ont été introduites par la technique d'échantillonnage et/ou par la méthode d'essai.

Des résultats non linéaires ne doivent normalement pas être utilisés pour les extrapolations.

### 8.4 Calcul et graphique de l'endurance thermique et de l'Indice de Température

L'endurance thermique est représentée graphiquement en reportant le temps jusqu'à défaillance (voir paragraphe 8.2) en fonction de la température d'exposition correspondante, sur du papier millimétré ayant en ordonnée une échelle logarithmique des temps et en abscisses l'inverse des températures absolues. Les températures d'exposition à 2000 h et 20000 h sont

The time to failure is calculated (using the median) as follows:

If there is a total of  $n$  specimens in a group, then the time to failure of the group is:

- a) if  $n$  is odd, the specimen failure time (see Sub-clause 8.1) of specimen number  $\frac{n+1}{2}$ ,
- b) if  $n$  is even, the mid-range between the specimen failure times (see Sub-clause 8.1) of specimens number  $\frac{n}{2}$  and  $\frac{n+2}{2}$ .

For instance, if  $n$  is 12, the time to failure would be the mid-range between the hours endurance of the sixth and the seventh specimens to fail. For the purpose of convenience, it is suggested that, when the median is used for average endurance, the total number of specimens in a group be odd, thus simplifying calculation.

The time to failure is calculated (using the logarithmic mean) by dividing the sum of the logarithms of the hours to failure of individual specimens (see Sub-clause 8.1) by the total number of specimens in the group. The time to failure of the group is the antilogarithm of the logarithmic mean.

### 8.3 Linearity of data

To avoid misleading extrapolations (see Sub-clause 8.4), the correlation coefficient should be calculated as given in Appendix B, to provide a measure of linearity.

If the correlation coefficient  $r$  is equal or greater than 0.95, the data is said to be linear and the data points will be reasonably close to a straight line. In the event that the correlation coefficient is less than 0.95, the data is said to be non-linear and an additional test should be made at a temperature below the lowest previous temperature.

The new temperature point may be 10 °C below the previous lowest temperature point. When re-calculating the Temperature Index and correlation coefficient, one temperature point may be deleted, starting with the highest temperature, for each new temperature point obtained.

The data will be linear if the thermal deterioration of the enamelled wire or the varnished enamelled wire appears as one chemical reaction. Non-linearity may indicate that:

- a) two or more reactions which have different activation energies (slopes) are predominant at different temperatures within the testing range; or
- b) that errors have been introduced through the sampling technique and/or the testing procedure.

Non-linear data should not be used for extrapolation.

### 8.4 Calculating and plotting thermal endurance and Temperature Index

Thermal endurance is graphically presented by plotting the time to failure (see Sub-clause 8.2) versus its respective exposure temperature on graph paper having a logarithmic time scale as the ordinate and the reciprocal of absolute temperature as the abscissa. The exposure temperatures at 2000 h and 20000 h are estimated based on the first order regression

considérées comme étant déduites de la droite de régression du premier degré calculée conformément à l'annexe A. Une droite de régression est tracée entre les deux points sur le graphique pour représenter l'endurance thermique du fil de bobinage émaillé (voir figure 8, page 28).

L'Indice de Température du fil émaillé est le nombre correspondant à la température en degrés Celsius pour laquelle la droite de régression coupe la ligne des 20000 h. L'Indice est exprimé sans référence aux degrés Celsius.

S'il est nécessaire d'entreprendre une analyse statistique plus approfondie, référence peut être faite à la Publication 216-3 de la CEI, Troisième partie: Methodes statistiques.

## 9. Rapport

Le compte rendu des résultats doit normalement contenir les informations suivantes:

- 1) L'identification ou la description de l'émail, le grade, et le type du conducteur (par exemple: cuivre, aluminium, etc.).
- 2) L'identification ou la description du vernis d'imprégnation et le mode d'imprégnation utilisé.
- 3) Le temps jusqu'à défaillance de chaque groupe d'éprouvettes à chaque température d'exposition.
- 4) Un graphique indiquant la droite de régression du premier degré passant par les valeurs de temps jusqu'à défaillance.
- 5) L'Indice de Température (I.T.).

calculation presented in Appendix A. A regression line is drawn through these two points on the graph, which represents the thermal endurance of the enamelled winding wire (see Figure 8, page 28).

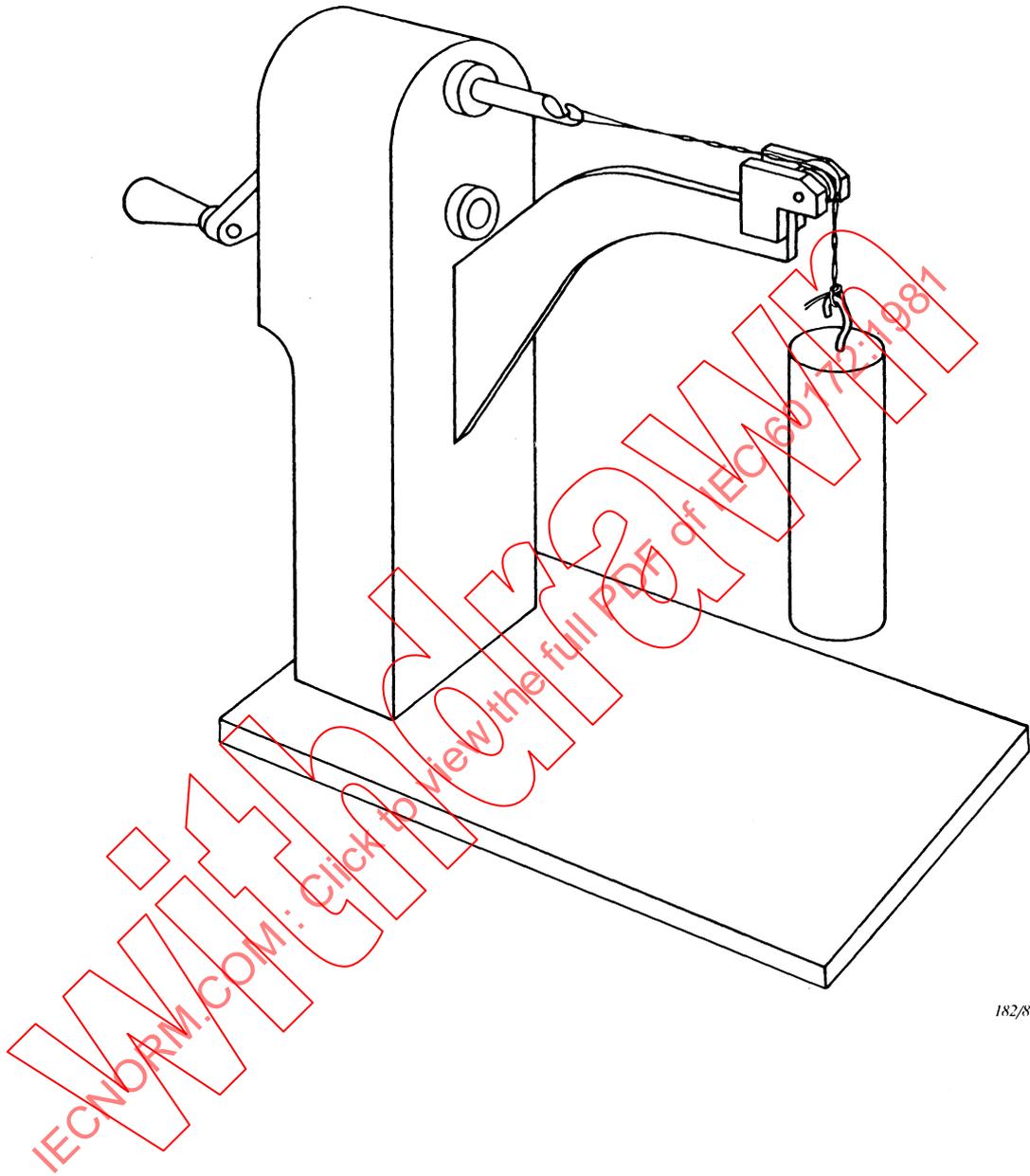
The Temperature Index of the enamelled wire is the number corresponding to the temperature in degrees Celsius at which the regression line intersects the 20000 h line. It is listed without reference to degrees Celsius.

If further statistical analysis of the data is necessary, reference may be made to IEC Publication 216-3, Part 3: Statistical Methods.

## 9. Report

The report of the results shall contain the following information:

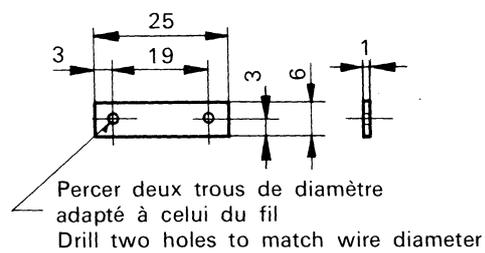
- 1) Identification or description of the wire enamel, grade and the type of conductor (e.g. copper, aluminium, etc.).
- 2) Identification or description of the impregnating varnish and varnishing process.
- 3) Time to failure of each set of specimens at each exposure temperature.
- 4) A graph of the first order regression line through the time to failure values.
- 5) The Temperature Index (T.I.).



182/81

FIG. 1. — Dispositif pour la réalisation des éprouvettes.  
Device used to form test specimen.

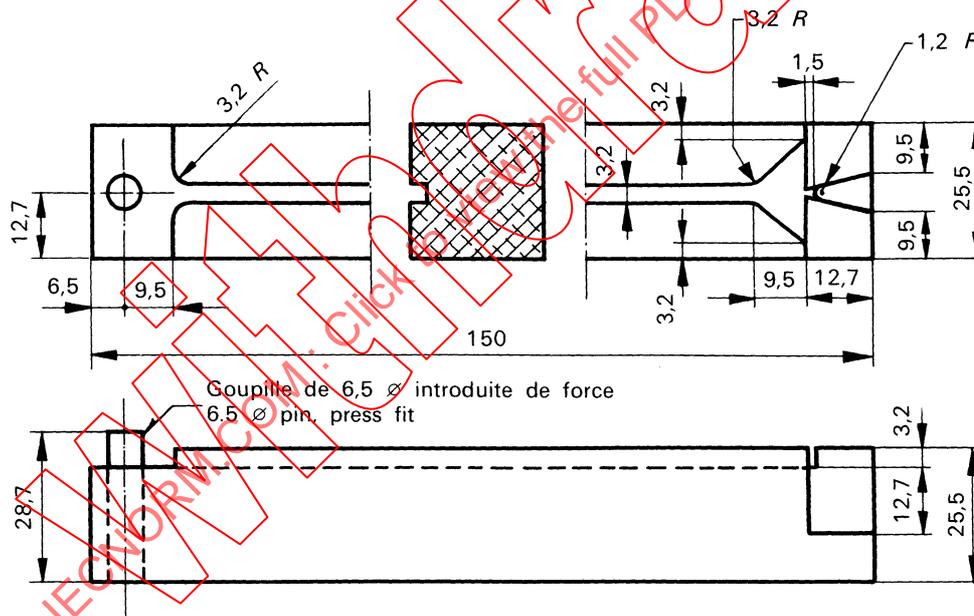
Dimensions en millimètres  
Dimensions in millimetres



183/81

Matériau: stratifié verre silicone  
Material: silicone glass laminate

FIG. 2. — Séparateur.  
Spacer.



184/81

Note. — Arrondir les arrêtes vives de l'encoche du gabarit comme il est indiqué.  
Round all corners in jig slot as shown.

Matériau: aluminium  
Material: aluminium

FIG. 3. — Gabarit pour la préparation des torsades.  
Twist forming jig.

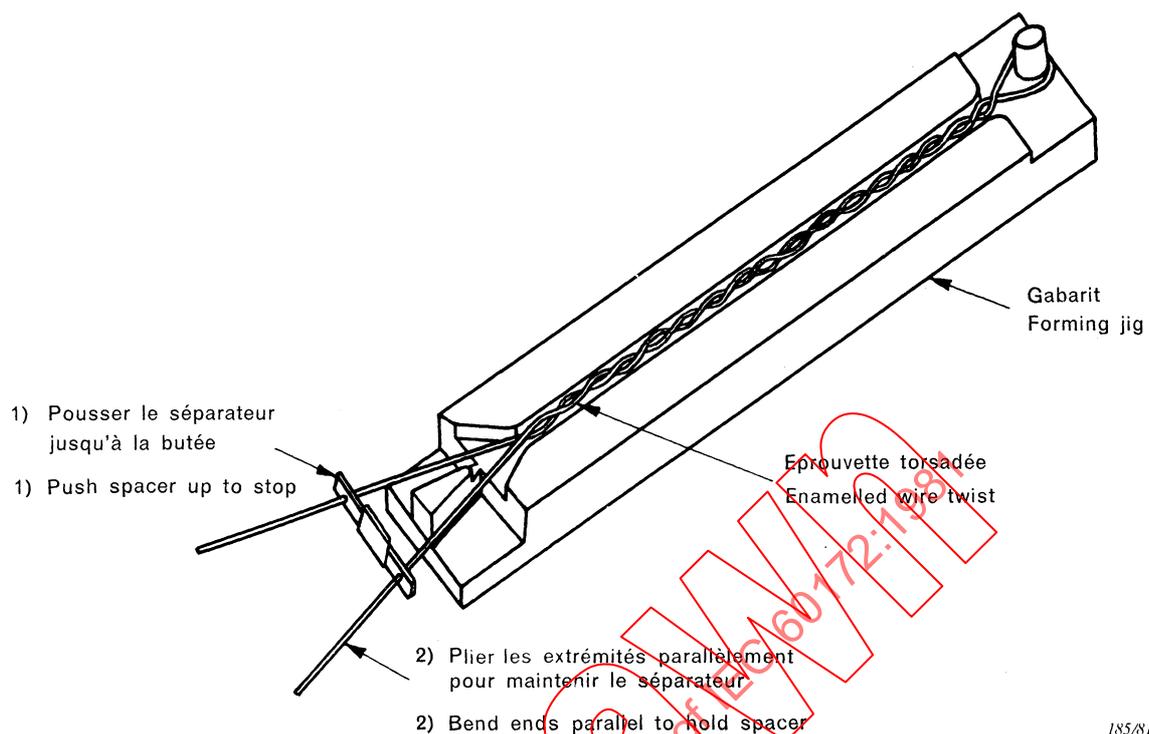


FIG. 4. — Eprouvette disposée dans le gabarit.  
Test specimen set up in forming jig.

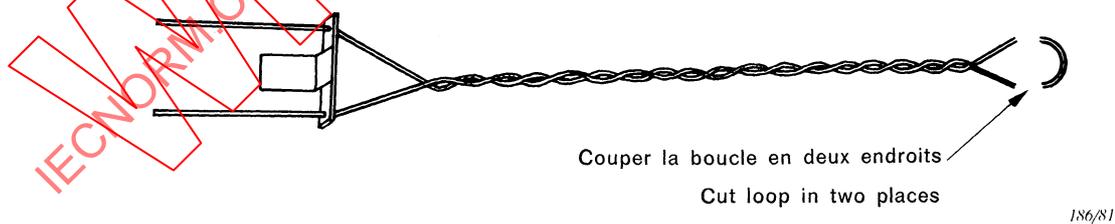
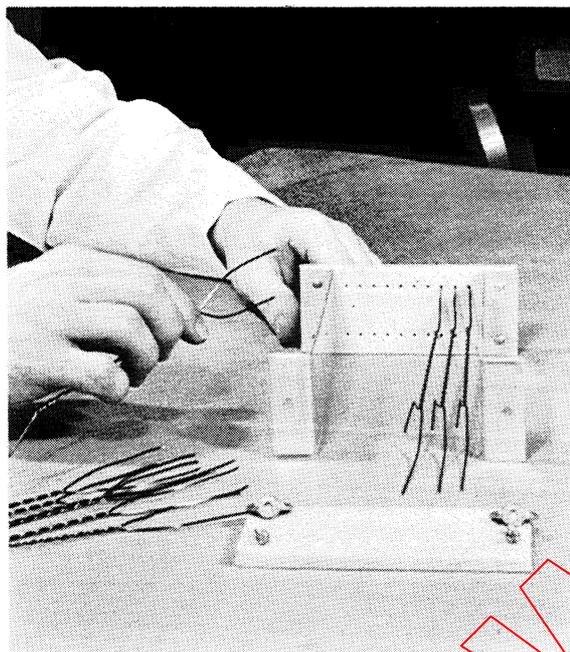


FIG. 5. — Eprouvette réalisée, boucle coupée.  
Test specimen formed with loop cut.



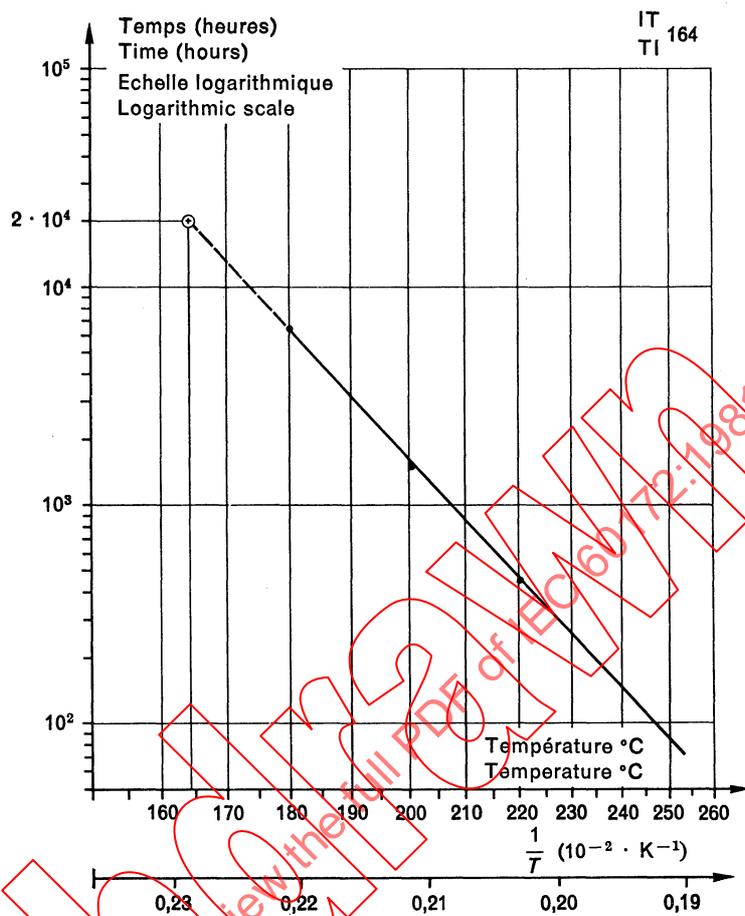
534/81

FIG. 6. — Porte-échantillons.  
Specimen holder.



535/81

FIG. 7. — Porte-échantillons.  
Specimen holder.



409/74

FIG. 8. — Graphique d'endurance thermique — Indice de Température.  
Thermal endurance graph — Temperature Index.

— Page blanche —

— Blank page —

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60172:1981  
**Withdrawn**

## ANNEXE A

MÉTHODE DE CALCUL SIMPLIFIÉE POUR LE CALCUL  
DE LA DROITE DE RÉGRESSION

Cette annexe a pour objet de présenter une méthode rapide pour tracer la droite de régression pour un groupe de résultats d'endurance. Cette méthode peut être utilisée pour un nombre quelconque de résultats à diverses températures. La droite de régression étant tracée, les valeurs individuelles peuvent être mentionnées pour donner une indication sur la linéarité et la variabilité des résultats. Si des informations au sujet de l'intervalle de confiance sont demandées, il est conseillé d'utiliser l'analyse plus détaillée décrite dans la Publication 216-3 de la CEI.

Il a été établi que beaucoup d'isolations se détérioraient d'une manière telle que l'équation suivante s'applique:

$$L = Ae^{B/T} \quad (1)$$

où:

$L$  = endurance de l'isolation en heures  
 $T$  = température absolue en kelvins  
 $A, B$  = constantes pour chaque isolation  
 $e$  = base des logarithmes naturels

L'équation (1) peut s'exprimer sous forme linéaire en prenant les logarithmes:

$$\log_{10}L = \log_{10}A + (\log_{10}e) \cdot \frac{B}{T} \quad (2)$$

Prenons:

$Y = \log_{10}L$   
 $a = \log_{10}A$   
 $X = 1/T$   
 $b = (\log_{10}e) \cdot B$

D'où:

$$Y = a + bX \quad (3)$$

Ainsi les résultats d'essai à températures plus élevées peuvent être placés sur un graphique  $\log_{10}L$  en fonction de  $1/T$  et la droite peut être extrapolée aux températures plus basses. Cependant, comme la nature des indications logarithmiques ne permet pas une extrapolation pour tracer la meilleure

## APPENDIX A

SIMPLIFIED METHOD FOR CALCULATION  
OF THE REGRESSION LINE

The purpose of this appendix is to present a method for quickly plotting the regression line for a set of endurance data. This method may be used for any number of measurements at various test temperatures. After the regression line is plotted, the individual end points can also be plotted to give some indication of the linearity and variability of the data. If the information about the confidence limits is required, it is suggested that a more detailed analysis be made in accordance with IEC Publication 216-3.

It has been established that many insulations deteriorate in a manner such that the following equation applies:

$$L = Ae^{B/T} \quad (1)$$

where:

$L$  = insulation endurance in hours  
 $T$  = absolute temperature in kelvins  
 $A, B$  = constants for each insulation, and  
 $e$  = base of natural logarithms

Equation (1) may be expressed as a linear function by taking logarithms

$$\log_{10}L = \log_{10}A + (\log_{10}e) \cdot \frac{B}{T} \quad (2)$$

Let:

$Y = \log_{10}L$   
 $a = \log_{10}A$   
 $X = 1/T$   
 $b = (\log_{10}e) \cdot B$

Then:

$$Y = a + bX \quad (3)$$

Thus, data from testing at higher temperatures may be plotted on  $\log_{10}L$  versus  $1/T$  graph paper and a straight line extrapolated to lower temperatures. However, since the nature of logarithmic plots does not allow accurate extrapolation by the method of drawing the best apparent straight line

droite au travers des points par la méthode graphique, une méthode plus rigoureuse doit être utilisée pour obtenir plus de précision. Par la méthode des moindres carrés, les constantes  $a$  et  $b$  peuvent provenir des valeurs obtenues. Ces équations sont les suivantes:

$$a = \frac{\Sigma Y - b \Sigma X}{N} \quad (4)$$

$$b = \frac{N \Sigma XY - \Sigma X \Sigma Y}{N \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2} \quad (5)$$

où:

$X = 1/T$  = inverse de la température absolue en kelvins ( $^{\circ}\text{C} + 273$ )

$N$  = nombre de temps jusqu'à défaillance des éprouvettes utilisées pour les calculs

$Y = \log_{10} L$  = logarithme du temps de défaillance des éprouvettes à chaque point de mesure

$\Sigma$  = somme des valeurs  $N$

Connaissant les constantes  $a$  et la pente  $b$  de la droite de régression, la température, pour une valeur de vie donnée, peut être calculée comme suit:

$$Y = a + bX \quad (3)$$

$$T = \frac{1}{X} = \frac{b}{Y - a} \quad (3a)$$

$$\begin{array}{l} \text{Température à 20000 h en degrés Celsius} \\ \text{(Indice de température)} \end{array} = \frac{b}{4,3010 - a} - 273 \quad (6)$$

$$\text{Température à 2000 h en degrés Celsius} = \frac{b}{3,3010 - a} - 273 \quad (7)$$

Pour simplifier le maniement des résultats utilisés dans les équations (4) à (7), il est suggéré de suivre les étapes de calcul indiqué ci-après (voir tableaux I et II et figure 1, page 24).

- 1) Faire le tableau de la liste des résultats de températures individuelles illustrées dans le tableau II.
- 2) Sous la liste « $^{\circ}\text{C}$ » porter chaque température à laquelle un essai a été réalisé (comme référence seulement).
- 3) Dans les deuxième et troisième colonnes porter la liste des inverses ( $X = 1/T$ ) et l'inverse du carré ( $X^2 = 1/T^2$ ) des températures ci-dessus converties en kelvins (voir tableau I).
- 4) Dans la quatrième colonne, inscrire la liste des durées de vie  $L$  de chaque groupe en heures et dans la cinquième colonne, la liste des logarithmes ordinaires des valeurs de la quatrième colonne ( $Y = \log_{10} L$ ).
- 5) Dans la sixième colonne, faire la liste des produits de  $\log_{10} L$ ,  $Y$  (cinquième colonne) et des inverses de la température d'essai en kelvins,  $X$  (deuxième colonne).

through the data points, a more rigorous method must be used for greater accuracy and uniformity. By the use of the method of least squares, the constants  $a$  and  $b$  may be derived in terms of the experimental data obtained. These equations are as follows:

$$a = \frac{\Sigma Y - b \Sigma X}{N} \quad (4)$$

$$b = \frac{N \Sigma XY - \Sigma X \Sigma Y}{N \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2} \quad (5)$$

where:

$X = 1/T =$  reciprocal of the test temperature in kelvins ( $^{\circ}\text{C} + 273$ )

$N =$  number of specimen failure times used in the calculation

$Y = \log_{10} L =$  logarithm of the specimen failure time at each test point

$\Sigma =$  summation of  $N$  values

Knowing the constant  $a$  and the slope  $b$  of the regression line, the temperature at any required life value may be calculated as follows:

$$Y = a + bX \quad (3)$$

$$T = \frac{1}{X} = \frac{b}{Y - a} \quad (3a)$$

$$\text{Temperature at 20000 h in degrees Celsius} = \frac{b}{4.3010 - a} - 273 \quad (6)$$

(Temperature Index)

$$\text{Temperature at 2000 h in degrees Celsius} = \frac{b}{3.3010 - a} - 273 \quad (7)$$

To simplify the handling of the test data used in the equations (4) to (7), it is suggested that the steps for a sample calculation be followed as outlined below (see Tables I and II and Figure 1, page 24).

- 1) List the individual temperature data in tabular form as illustrated in Table II.
- 2) Under “ $^{\circ}\text{C}$ ” list each temperature at which an individual test was completed (for reference only).
- 3) In the second and third columns, list the reciprocals ( $X = 1/T$ ) and the reciprocals squared ( $X^2 = 1/T^2$ ) of the above temperatures converted to kelvins (see Table I).
- 4) In the fourth column, list the time to failure  $L$  of each individual set in hours and in the fifth column, list the common log of the value in the fourth column ( $Y = \log_{10} L$ ).
- 5) In the sixth column, list the products of  $\log_{10} L$ ,  $Y$  (fifth column) and reciprocal of the test temperature in kelvins,  $X$  (second column).

- 6) Totaliser les deuxième, troisième, cinquième et sixième colonnes et inscrire la somme (indiquée par  $\Sigma$ ) respectivement au bas de chaque colonne.
- 7) Indiquer le nombre de résultats  $N$  sur le rapport.
- 8) En utilisant les valeurs obtenues aux points 6 et 7, calculer  $b$  (équation 4) et  $a$  (équation 5) dans cet ordre. (La constante  $a$  est toujours négative.)
- 9) En utilisant les constantes  $a$  et  $b$ , calculer la température en degrés Celsius correspondant à 20000 h (équation 6) et à 2000 h (équation 7).
- 10) Inscrive les deux points ci-dessus (trouvés au point 9) sur papier  $\log_{10}L$  en fonction de  $1/T$  et tracer la droite de régression.
- 11) Placer les valeurs individuelles de durée de vie  $L$  à leur température respective sur le même graphique.

TABLEAU I

*Températures d'essai habituelles en degrés Celsius et en kelvins correspondants, avec l'inverse et l'inverse du carré (voir tableau II)*

$\theta, ^\circ\text{C}$	$T, \text{K}$	$X = 1/T, \text{K}^{-1}$	$X^2 = 1/T^2, \text{K}^{-2}$
105	378	$2,645\ 50 \times 10^{-3}$	$6,998\ 68 \times 10^{-6}$
125	398	$2,512\ 56 \times 10^{-3}$	$6,312\ 97 \times 10^{-6}$
130	403	$2,481\ 39 \times 10^{-3}$	$6,157\ 29 \times 10^{-6}$
140	413	$2,421\ 31 \times 10^{-3}$	$5,862\ 73 \times 10^{-6}$
150	423	$2,364\ 07 \times 10^{-3}$	$5,588\ 81 \times 10^{-6}$
165	438	$2,283\ 11 \times 10^{-3}$	$5,212\ 57 \times 10^{-6}$
175	448	$2,232\ 14 \times 10^{-3}$	$4,982\ 46 \times 10^{-6}$
180	453	$2,207\ 51 \times 10^{-3}$	$4,873\ 08 \times 10^{-6}$
185	458	$2,183\ 41 \times 10^{-3}$	$4,767\ 26 \times 10^{-6}$
190	463	$2,159\ 83 \times 10^{-3}$	$4,664\ 85 \times 10^{-6}$
200	473	$2,114\ 16 \times 10^{-3}$	$4,469\ 69 \times 10^{-6}$
220	493	$2,028\ 40 \times 10^{-3}$	$4,114\ 40 \times 10^{-6}$
225	498	$2,008\ 03 \times 10^{-3}$	$4,032\ 19 \times 10^{-6}$
240	513	$1,949\ 32 \times 10^{-3}$	$3,799\ 84 \times 10^{-6}$
250	523	$1,912\ 05 \times 10^{-3}$	$3,655\ 92 \times 10^{-6}$
260	533	$1,876\ 17 \times 10^{-3}$	$3,520\ 02 \times 10^{-6}$
280	553	$1,808\ 32 \times 10^{-3}$	$3,270\ 01 \times 10^{-6}$
300	573	$1,745\ 20 \times 10^{-3}$	$3,045\ 73 \times 10^{-6}$
320	593	$1,686\ 34 \times 10^{-3}$	$2,843\ 74 \times 10^{-6}$