

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 172

Première édition — First edition

1966

**Méthode d'essai pour l'évaluation de la stabilité thermique
des fils émaillés par l'abaissement de la rigidité diélectrique
entre les fils torsadés**

**Test procedure for the evaluation of the thermal endurance
of enamelled wire by the lowering of the electric strength
between twisted wires**



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe
Genève, Suisse

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60172:1966

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 172

Première édition — First edition

1966

**Méthode d'essai pour l'évaluation de la stabilité thermique
des fils émaillés par l'abaissement de la rigidité diélectrique
entre les fils torsadés**

**Test procedure for the evaluation of the thermal endurance
of enamelled wire by the lowering of the electric strength
between twisted wires**



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Articles	
1. Domaine d'application	6
2. Objet	6
3. Epreuves	6
4. Régimes d'exposition	10
5. Essais	14
6. Compte rendu des résultats d'essais	18
FIGURES	22

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
1. Scope	7
2. Object	7
3. Insulation test specimens	7
4. Test exposures	11
5. Tests	15
6. Reporting the results of test	19
FIGURES	22

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60172:1966

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**MÉTHODE D'ESSAI POUR L'ÉVALUATION DE LA STABILITÉ THERMIQUE
DES FILS ÉMAILLÉS PAR L'ABAISSEMENT DE LA RIGIDITÉ DIÉLECTRIQUE
ENTRE LES FILS TORSADÉS**

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la C E I 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 cette unification internationale, la C E I exprime le vœu que tous les Comités nationaux ne possédant pas encore de règles nationales, lorsqu'ils préparent ces règles, prennent comme base fondamentale de ces règles les recommandations de la C E I dans la mesure où les conditions nationales le permettent.
- 4) On reconnaît qu'il est désirable que l'accord international sur ces questions soit suivi d'un effort pour harmoniser les règles nationales de normalisation avec ces recommandations dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Les Comités nationaux s'engagent à user de leur influence dans ce but.

PRÉFACE

Cette recommandation a été établie par le Comité d'Etudes N° 15 de la C E I : 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 pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication :

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**TEST PROCEDURE FOR THE EVALUATION OF THE THERMAL ENDURANCE
OF ENAMELLED WIRE BY THE LOWERING OF THE ELECTRIC STRENGTH
BETWEEN TWISTED WIRES**

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the I E C 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 this international unification, the I E C expresses the wish that all National Committees having as yet no national rules, when preparing such rules, should use the I E C recommendations as the fundamental basis for these rules in so far as national conditions will permit.
- 4) The desirability is recognized of extending international agreement on these matters through an endeavour to harmonize national standardization rules with these recommendations in so far as national conditions will permit. The National Committees pledge their influence towards that end.

PREFACE

This Recommendation has been prepared by I E C 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 following countries voted explicitly in favour of publication :

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

MÉTHODE D'ESSAI POUR L'ÉVALUATION DE LA STABILITÉ THERMIQUE DES FILS ÉMAILLÉS PAR L'ABAISSEMENT DE LA RIGIDITÉ DIÉLECTRIQUE ENTRE LES FILS TORSADÉS

1. Domaine d'application

La méthode d'essai concerne uniquement les fils émaillés ronds; elle n'est pas applicable aux fils ronds et méplats isolés avec des matériaux fibreux dont le cas fera l'objet d'une étude ultérieure.

Elle s'applique aux fils ronds dont le diamètre, sans l'isolation, est compris entre 0,12 mm (0,005 in) et 3,30 mm (0,130 in), il n'est cependant pas pratique d'appliquer cette méthode aux fils de diamètre inférieur à 0,25 mm (0,010 in) en raison de la fragilité des éprouvettes. D'une façon générale les diamètres compris entre 0,80 mm (0,032 in) et 1,50 mm (0,057 in) sont recommandés, ces dimensions convenant bien aux manipulations et aux essais.

2. Objet

Cette méthode d'essai est destinée à permettre de comparer la stabilité thermique des fils ronds émaillés dans l'air à la pression atmosphérique. Les renseignements obtenus seront destinés à compléter, plutôt qu'à remplacer, les renseignements obtenus lors des essais fonctionnels pratiques sur matériels ou sur maquettes.

Cette méthode d'essai ne couvre que l'évaluation de la stabilité thermique par des changements dans la rigidité diélectrique; pour évaluer les changements d'autres propriétés, des méthodes d'essai complémentaires sont nécessaires.

Les valeurs de stabilité thermique obtenues en soumettant certains types de fils émaillés à la chaleur dans les milieux gazeux ou liquides sans air peuvent être différentes de celles obtenues dans l'air. Ce fait doit être pris en considération lors de l'interprétation de résultats obtenus par chauffage dans l'air en vue d'applications où le fil ne sera pas exposé à l'air en service.

3. Éprouvettes

3.1 Nature de l'éprouvette

L'éprouvette se compose de deux fils émaillés torsadés ensemble comme il est spécifié au paragraphe 3.2. Elle représente conventionnellement l'usage qu'il est fait des fils émaillés dans l'équipement électrique.

3.2 Préparation des éprouvettes

Les éprouvettes sont préparées de la façon suivante :

- a) Deux longueurs de fil émaillé doivent être torsadées ensemble sur une distance de 12,5 cm (4,75 in). La tension totale exercée sur les 2 fils pendant qu'ils sont torsadés, ainsi que le nombre de tours sont donnés au Tableau I, pour les fils dont les diamètres entrent dans une des séries de dimensions indiquées ci-dessous.

TEST PROCEDURE FOR THE EVALUATION OF THE THERMAL ENDURANCE OF ENAMELLED WIRE BY THE LOWERING OF THE ELECTRIC STRENGTH BETWEEN TWISTED WIRES

1. Scope

This test procedure specifies a method for evaluating the useful life of round, enamelled wire. It is not applicable to round or rectangular magnet wire insulated with fibrous insulations such as cotton or glass fibre. The evaluation of fibrous insulated round and rectangular wires will be covered by subsequent test procedures.

Enamelled wire having bare, uninsulated wire diameters ranging from 0.12 mm to 3.30 mm (0.005 to 0.130 in) inclusive, can be evaluated as described herein. Because of the fragility of the test specimens, it is not practicable to evaluate wire with diameters smaller than 0.25 mm (0.010 in). Wire sizes from 0.80 mm (0.032 in) to 1.50 mm (0.057 in) inclusive are generally recommended as being the most convenient to handle and test.

2. Object

This test procedure is intended for comparing the thermal endurance of enamelled round wires in air at atmospheric pressure. The data obtained will supplement, rather than replace, data obtained in functional tests of actual equipment or models of insulation systems.

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 values different from those obtained in air. This fact must be considered when interpreting the results obtained by heating in air in respect to applications where the wire will not be exposed to air in service.

3. Insulation test specimens

3.1 Test specimens

The test specimen consists of two strands of the insulated wire twisted together as described in Sub-clause 3.2. The twisted pair of enamelled wire simulates to some extent the actual use of enamelled wires in electric equipment.

3.2 Preparation of test specimens

The test specimens are prepared as follows :

- a) Two pieces of enamelled wire shall be twisted together for a distance of 12.5 cm (4.75 in). The tension on the 2 wires while being twisted and the number of twists are given in Table I for wires with diameters falling within the size ranges shown.

TABLEAU I

Diamètre du fil nu mm	Diamètre du fil nu in	Tension totale sur les fils		Nombre total de tours sur 12,5 cm (4,75 in)
		kgf	oz et lbs.	
0,12 - 0,25	0,005 - 0,010	0,085	3 oz	33
> 0,25 - 0,35	> 0,010 - 0,014	0,17	6 oz	23
> 0,35 - 0,50	> 0,014 - 0,020	0,34	12 oz	16
> 0,50 - 0,75	> 0,020 - 0,030	0,7	1,5 lbs.	12
> 0,75 - 1,05	> 0,030 - 0,041	1,35	3 lbs.	8
> 1,05 - 1,50	> 0,041 - 0,060	2,7	6 lbs.	6
> 1,50 - 2,15	> 0,060 - 0,085	5,4	12 lbs.	4
> 2,15 - 3,30	> 0,085 - 0,130	10,8	24 lbs.	3

Chaque éprouvette est réalisée en torsadant les deux fils ensemble de façon à constituer une paire torsadée symétrique. On peut utiliser tout dispositif capable de réaliser ces torsades suivant les spécifications du présent document. On a représenté un tel dispositif à la figure 1, page 22.

- b) Les séparateurs sont préparés suivant la figure 2, page 23. On peut utiliser des matériaux isolants, thermiquement stables, tels que la céramique ou les stratifiés silicone - fibres de verre. Les séparateurs sont marqués d'une lettre ou d'un numéro de code.
- c) Les éprouvettes peuvent être disposées dans un gabarit dont un dessin est donné à la figure 3, page 23. Un séparateur est placé entre les fils de sortie de la torsade, comme il est montré à la figure 4, page 24. Les fils de sortie sont repliés parallèlement entre eux de façon à maintenir le séparateur en place.
- d) La boucle formée par l'autre extrémité de la torsade est sectionnée en deux endroits comme il est montré à la figure 5, page 24.

On ne doit pas la sectionner en un seul endroit puis ensuite écarter l'un de l'autre les deux bouts ainsi obtenus; ceci aurait pour inconvénient d'altérer le fil émaillé à l'extrémité de la torsade.

- e) Pour assurer l'homogénéité du lot d'éprouvettes, il est recommandé de les soumettre, avant vieillissement, à la tension d'épreuve comme il est indiqué au Tableau III.

3.3 Imprégnation

L'expérience a montré que les fils émaillés et les vernis isolants pouvaient avoir une action réciproque au cours du vieillissement thermique. L'interaction entre vernis et émail peut conférer à l'ensemble fil émaillé vernis 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 la durée de vie thermique d'un ensemble de fil émaillé et de vernis d'imprégnation.

Lorsqu'on utilise un vernis, les éprouvettes sont trempées dans le vernis jusqu'au niveau du séparateur pendant 30 secondes environ. Elles sont ensuite lentement sorties du vernis. La viscosité du vernis doit être ajustée à la valeur recommandée pour le trempage. Le vernis peut ensuite être soumis à un traitement thermique suivant les indications des fabricants. Les opérations de

TABLE I

Bare wire, diameter mm	Bare wire, diameter in	Tension on wire pairs		Total No. of twists in 12.5 cm (4.75 in)
		kgf	oz and lbs.	
0.12 - 0.25	0.005 - 0.010	0.085	3 oz	33
> 0.25 - 0.35	> 0.010 - 0.014	0.17	6 oz	23
> 0.35 - 0.50	> 0.014 - 0.020	0.34	12 oz	16
> 0.50 - 0.75	> 0.020 - 0.030	0.7	1.5 lbs.	12
> 0.75 - 1.05	> 0.030 - 0.041	1.35	3 lbs.	8
> 1.05 - 1.50	> 0.041 - 0.060	2.7	6 lbs.	6
> 1.50 - 2.15	> 0.060 - 0.085	5.4	12 lbs.	4
> 2.15 - 3.30	> 0.085 - 0.130	10.8	24 lbs.	3

A specimen is prepared by twisting together two wires to produce a symmetrically arranged pair. Any device capable of forming the twisted wires in accordance with this specification can be used. A typical device used to form the twisted samples is shown in Figure 1, page 22.

- b) Prepare spacers as shown in Figure 2, page 23. Such thermally stable insulating materials as ceramic or silicone-fibrous glass 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 23. 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 24. The leads are then bent parallel to hold the spacer in position. The forming jig provides more uniform test specimens.
- d) The loop at the opposite end of the twisted wires is cut in two places as shown in Figure 5, page 24.

The loop should not be cut in one place and the ends separated, as this may injure the wire where it enters the twisted section.

- e) In order to ensure homogeneity of the batch of test specimens, it is recommended that test specimens be subjected to the proof test voltage given in Table III prior to ageing.

3.3 Varnish impregnation

Experience has shown that enamelled wire and electrical insulating varnishes can affect one another during the thermal ageing process. Interaction with varnish 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 life of a combination of insulating varnish and enamelled wire.

When varnish is used, the test specimens are dipped to cover the spacer in the varnish for approximately 30 seconds. They are then slowly withdrawn from the varnish. The varnish should be diluted to dipping viscosity and it may be cured according to the manufacturer's recommendations. The dip and bake operation may also simulate actual processing schedules. A single

trempe et d'étuvage peuvent aussi être réalisées à l'image des techniques utilisées dans la pratique. Un seul trempage dans le vernis est en général satisfaisant, mais plusieurs trempages peuvent être effectués dans le but de déterminer l'influence de l'épaisseur de vernis. Lorsqu'il est effectué plus d'un trempage, il est recommandé de retourner à chaque fois l'éprouvette, bout pour bout.

3.4 *Influence du métal du conducteur*

Le métal et les traitements de surface du conducteur peuvent aussi avoir une influence sur la durée de vie du fil émaillé. La présente méthode d'essai peut aussi donner des indications sur ce sujet.

3.5 *Nombre d'éprouvettes*

La précision des résultats dépend fortement du nombre d'éprouvettes exposées à chaque température. Un assez grand nombre d'éprouvettes est nécessaire pour obtenir une précision suffisante lorsqu'il y a une large dispersion dans les temps où se produisent les défauts sur les éprouvettes exposées à chaque température.

Le nombre d'éprouvettes mises en vieillissement à chaque température doit donc être déterminé par une analyse statistique des temps d'apparition des défauts et la précision qui est désirée pour la détermination de la durée moyenne de vie.

Lorsque l'on suit la méthode de la tension d'épreuve, l'expérience montre qu'un minimum de vingt éprouvettes non imprégnées doit être mis en vieillissement. Si les essais portent sur des éprouvettes imprégnées, un minimum de 10 éprouvettes peut être utilisé, mais cette quantité doit être augmentée s'il y a une large dispersion dans les valeurs déterminant la durée de vie.

4. **Régimes d'exposition**

4.1 *But*

Les régimes d'exposition auxquels il est recommandé de soumettre les éprouvettes sont indiqués dans la présente section. Ces régimes d'exposition ont pour but de reproduire les effets cumulatifs de détérioration susceptibles de causer en service la défaillance du fil émaillé.

Un des plus importants facteurs qui affectent la durée de vie du fil émaillé est la dégradation thermique. Des facteurs secondaires tels que l'humidité, la contamination chimique, les contraintes mécaniques ou les vibrations ne sont généralement pas en eux-mêmes des causes de défaillance, mais sont des facteurs qui peuvent faire apparaître des défauts lorsque le fil émaillé a été préalablement affaibli par détérioration thermique. Pour cette raison l'exposition aux températures élevées est le principal agent de détérioration considéré dans la présente méthode d'essai.

4.2 *Exposition thermique*

Les valeurs proposées 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 à 30 °C). Les éprouvettes en essai seront placées directement dans les enceintes de vieillissement et retirées sans modifier la température de réglage des enceintes.

Les enceintes doivent être chauffées à la température appropriée avant d'y introduire les éprouvettes.

dip in varnish is usually satisfactory although additional dips may be used to determine the effect of varnish thickness. When more than one dip is used, it is recommended that the ends of the test specimen be reversed for each dip.

3.4 *Effect of wire metal*

The wire metal and surface treatment of the wire will also affect the thermal life of enamelled wire. This test procedure may also give indications on this subject.

3.5 *Number of test specimens*

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

The number of test specimens at each exposure temperature must, therefore, be determined by a statistical analysis of the failure times and the degree of accuracy that is desired in determining the average life.

When the proof voltage test method is used, experience has shown that twenty unvarnished test specimens usually give satisfactory results. If varnished specimens are tested, 10 specimens may be used, but this number should be increased if the spread in life values is high.

4. **Test exposures**

4.1 *Scope*

Recommended exposures to which the test specimens are subjected are given in this clause. These exposures represent the cumulative deteriorating effects that may cause failure of enamelled wire in service.

A major factor affecting the life of enamelled wire is thermal degradation. 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. For this reason exposure to high temperatures is the primary deteriorating influence considered in this test procedure.

4.2 *Temperature exposure*

In Table II the suggested 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 (20-30 °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 placed in it.

TABLEAU II

Valeurs proposées pour les températures et les durées de cycles en jours

Température d'exposition	Température maximum de la classe à laquelle est présumée appartenir l'isolation :					
°C	105 °C	120 °C	130 °C	155 °C	180 °C	au-dessus de 180 °C
300						1
290						2
280						4
270						7
260						14
250					1	28
240					2	49
230					4	
220				1	7	
210				2	14	
200			1	4	28	
190		1	2	7	49	
180	1	2	4	14		
170	2	4	7	28		
160	4	7	14	49		
150	7	14	28			
140	14	28	49			
130	28	49				
120	49					

Les durées d'exposition données au Tableau II sont choisies pour que la durée moyenne de vie des éprouvettes soit atteinte après qu'on les ait exposées, pour chaque température, à environ 10 cycles.

Les éprouvettes seront mises en vieillissement dans une enceinte à circulation d'air forcée. La température des éprouvettes en essai doit être maintenue égale à la température de vieillissement choisie, à ± 2 degrés Celsius près. La durée de vie des éprouvettes est influencée par le nombre de cycles qu'elles subissent.

Des valeurs de la durée de vie 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.

Les éprouvettes en essai devront être soumises à au moins trois températures d'exposition. Ces températures d'exposition devront présenter entre elles une différence d'au moins 20 °C. La précision avec laquelle peut être estimée la durée de vie d'une isolation d'après les résultats d'essais augmente lorsque les températures d'exposition se rapprochent de la température à laquelle l'isolation est exposée en service. Il est donc recommandé que la plus basse température de vieillissement soit supérieure de 20 à 40 degrés Celsius à la température de service présumée de l'émail étudié. Des durées de vie obtenues sur des échantillons détériorés en moins de 100 heures ne peuvent pas être considérées comme sûres. Aussi les températures d'exposition élevées qui conduisent à des temps de dégradation de cet ordre seront à éviter.

TABLE II

Suggested temperatures and exposure times in days per cycle

Exposure temperature	Estimated insulation temperature rating					
°C	105 °C	120 °C	130 °C	155 °C	180 °C	over 180 °C
300						1
290						2
280						4
270						7
260						14
250					1	28
240					2	49
230					4	
220				1	7	
210				2	14	
200			1	4	28	
190		1	2	7	49	
180	1	2	4	14		
170	2	4	7	28		
160	4	7	14	49		
150	7	14	28			
140	14	28	49			
130	28	49				
120	49					

The exposure times are selected to subject the test specimens to approximately 10 cycles at each temperature before the average end-point (life) is reached.

The specimens should be aged in a forced air circulating oven. The temperature of the specimens under test must be maintained within ± 2 deg C of the selected ageing temperature. The life of the specimens will be affected by the number of cycles.

Thermal life 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.

Test specimens should be exposed to a minimum of three and preferably four test temperatures. Exposure temperature should be at least 20 deg C apart. The accuracy of the life predicted from the results will increase as the exposure temperature approaches the temperature to which the insulation is exposed in service. It is recommended, therefore, that the lowest ageing temperature be 20 to 40 deg C above the anticipated temperature rating for the enamelled wire. Life data obtained on samples that fail in less than 100 hours may not be reliable and high exposure temperatures that give such short failure times should be avoided.

4.3 Exposition à l'humidité

L'exposition des éprouvettes en essai à un conditionnement humide est facultatif dans cette méthode d'essai.

Lorsqu'une exposition à l'humidité est désirée, les éprouvettes en essai seront suspendues au moyen de supports convenables dans une enceinte de conditionnement pendant une durée de 24 heures à l'issue de chaque exposition à la température de vieillissement. L'enceinte de conditionnement devra présenter une humidité relative de 94 à 96 % et une température de 38 à 42 °C. Bien que la température réelle dans l'enceinte puisse être de 38 à 42 °C, elle ne doit pas s'écarter de plus de 0,8 °C de la valeur de réglage, afin que l'humidité relative se maintienne entre 94 et 96 %.

L'enceinte devra être prévue de façon telle que la tension d'essai puisse être appliquée à chaque éprouvette à l'intérieur de l'enceinte. La tension d'essai est appliquée au début et à la fin de la période de conditionnement de 24 heures dans les conditions décrites aux paragraphes 5.2 et 5.4.

4.4 Influences diverses

Les contaminations chimiques et les souillures ne sont pas prises en considération dans cette méthode d'essai. Toutefois, dans certains cas l'exposition des éprouvettes à des pollutions particulières peut être comprise dans le cycle d'essai.

Du matériel électrique comportant des fils émaillés peut en service être soumis à des atmosphères gazeuses ou être immergé dans des liquides. Aussi, lorsqu'on le désire, les éprouvettes en essai peuvent aussi être vieilles en atmosphères spéciales ou dans des liquides.

Pour l'étude de la stabilité thermique du fil émaillé en l'absence de ventilation ou dans une atmosphère gazeuse autre que l'air, les éprouvettes peuvent être mises dans une enceinte adéquate hermétiquement close pendant l'exposition à haute température. A la fin de chaque temps d'exposition, l'enceinte close sera refroidie à la température ambiante avant d'être ouverte pour procéder aux essais.

Les effets d'irradiations nucléaires sur la durée de vie de fils émaillés peuvent aussi être considérés. En général, le même mode opératoire peut être suivi pour le vieillissement à haute température et pour l'exposition des éprouvettes à l'irradiation. Cette exposition peut être faite soit séparément, soit en même temps que le vieillissement à haute température.

Les contraintes mécaniques ou les vibrations ne sont pas comprises dans le cycle d'essai de cette méthode. Des essais mécaniques seront compris dans des prochaines révisions de cette méthode d'essai. Les éprouvettes sont soumises à un allongement pour leur réalisation et demeurent contraintes mécaniquement. De plus, elles sont chauffées et refroidies rapidement lorsqu'elles sont introduites et retirées des enceintes de vieillissement. Ce « choc thermique » produit également des efforts mécaniques dus à la différence de dilatation entre le conducteur et les films isolants.

5. Essais

5.1 But

Le premier rôle d'un fil émaillé étant de servir de barrière diélectrique, on a choisi la rigidité diélectrique comme critère de détérioration dans cette méthode d'essai. En général tout défaut de la barrière diélectrique, constituée par le film d'email susceptible de provoquer la défaillance en service du film, peut être décelé par une diminution de la rigidité diélectrique.

4.3 *Moisture exposure*

Exposure of the test specimens to moisture conditioning is optional in this test procedure.

When exposure to moisture is desirable, the test specimens shall be suspended by means of suitable supports within a conditioning chamber for a period of 24 hours following each exposure to the ageing temperature. In the conditioning chamber, the nominal value of the relative humidity shall lie between 94 and 96 % and of the temperature between 38 and 42 °C. Although the actual temperature in the chamber may lie between 38 and 42 °C, it must not fluctuate more than 0.8 deg C of the control value if the relative humidity is to remain between 94 and 96 %.

The chamber must be designed so that the test voltage can be applied to each test specimen without removing the specimens from the chamber. A test voltage is applied prior to and at the end of the 24 hours' conditioning period as specified in Sub-clauses 5.2 and 5.4.

4.4 *Environmental conditioning*

The effects of chemical contamination and dirt are not considered in this test procedure. However, where a specific problem exists, exposure of the test specimens to the particular contaminant can be included in the exposure cycle.

Electrical equipment containing enamelled wire may be operated in special gaseous atmospheres or immersed in liquids. Thus, when desirable, test specimens may also be aged while confined in special atmospheres or liquids.

When the thermal endurance of enamelled wire in the absence of ventilation or in gaseous atmospheres other than air is to be studied, the test specimens may be enclosed in suitable hermetically sealed enclosures during the high temperature exposure. At the end of each exposure time the sealed containers should be cooled to room temperature before opening and testing.

The effects of nuclear irradiation on the life of enamelled wire may also be determined. Generally, the same procedure followed in high temperature ageing can be followed when subjecting test specimens to irradiation. Exposure to irradiation may be done separately or in combination with high temperature ageing.

Mechanical stressing or vibration is not included in the exposure cycle of this test procedure. Mechanical tests will be included in future revisions of this procedure. The test specimens are elongated in their preparation and are in a stressed condition. Furthermore, the specimens are heated and cooled rapidly where they are placed in and removed from the ageing ovens. This "heat shock" also causes mechanical strains due to the differential thermal expansion between the conductor and insulating films.

5. **Tests**

5.1 *Scope*

Since the primary purpose of a wire enamel is to serve as a dielectric barrier, electric strength has been selected as the failure criterion in this procedure. Generally, any fault in the dielectric barrier provided by the enamel film which would cause the film to fail in service may be detected by a decrease in electric strength.

Deux méthodes peuvent être utilisées pour déterminer la dégradation d'un fil émaillé par diminution de sa rigidité diélectrique. Ou bien on soumet les éprouvettes au vieillissement jusqu'à ce qu'elles soient détruites lorsqu'une tension d'épreuve préalablement choisie leur a été appliquée. Ou bien on détermine la rigidité diélectrique du fil émaillé après chaque cycle de vieillissement. La méthode de la tension d'épreuve est généralement préférée car elle ne nécessite qu'un nombre restreint d'éprouvettes.

5.2 Méthode de la tension d'épreuve

Les éprouvettes en essai sont sorties des enceintes et refroidies à la température ambiante. Pour vérifier l'état des éprouvettes et pour déterminer le moment où elles ont atteint la fin de leur vie utile, chaque éprouvette est soumise à une tension d'épreuve, compte tenu de l'épaisseur moyenne du film isolant, comme indiqué dans le Tableau III.

TABLEAU III
Méthode de la tension d'épreuve

Différence entre fil isolé et fil nu (double épaisseur du film isolant)		Tension d'essai
mm	in	V
0,015 - 0,024	0,0005 - 0,0009	300
> 0,024 - 0,035	> 0,0009 - 0,0014	400
> 0,035 - 0,050	> 0,0014 - 0,0020	500
> 0,050 - 0,070	> 0,0020 - 0,0027	700
> 0,070 - 0,090	> 0,0027 - 0,0035	1 000
> 0,090 - 0,130	> 0,0035 - 0,0051	1 200

Note. — Les tensions d'essai sont les valeurs efficaces à une fréquence de 50 à 60 Hz.

5.3 Méthode de la variation de la rigidité diélectrique

Il peut être intéressant de déterminer la loi de diminution de la rigidité diélectrique des éprouvettes en fonction du vieillissement. Cette loi de diminution de la rigidité peut être déterminée en mesurant la tension disruptive de 5 à 10 éprouvettes à l'issue de chaque période d'exposition à la température.

Il est proposé d'évaluer la durée de vie des éprouvettes par le temps nécessaire à l'abaissement de la rigidité diélectrique à la valeur de 12 kV par millimètre (300 V par mil) en tenant compte de l'épaisseur initiale du film isolant.

Les tensions d'essai données dans le Tableau III sont choisies de façon à soumettre l'isolant compris entre les deux fils torsadés à un gradient de potentiel supérieur au gradient disruptif de l'air pour un intervalle égal à la distance entre les deux conducteurs. Ces valeurs relativement hautes sont choisies afin de pouvoir déceler facilement les fissures, craquelures et autres détériorations du film d'email.

5.4 Application d'une tension après le conditionnement humide

Lorsque l'exposition à l'humidité est comprise dans le cycle d'essai, les éprouvettes seront d'abord soumises à la tension d'essai indiquée dans le Tableau III. Après le séjour en atmosphère humide une tension d'essai alternative de valeur efficace 150 V sera appliquée aux éprouvettes maintenues dans l'enceinte humide.

Two methods for determining the failure of enamelled wire by loss of electric strength may be used. The test specimens may be aged until they fail when a predetermined proof voltage test is applied. Secondly, electric strength of the enamelled wire may be determined after each ageing cycle. Since the proof test method requires fewer specimens, it is generally preferred.

5.2 Proof voltage test

The test specimens are removed from the ovens and cooled to room temperature. To check the condition of the test specimens and to determine when the end of their useful life has been reached, each specimen is subjected to a proof test voltage, according to the average thickness of the insulating film, as specified in Table III.

TABLE III
Proof voltage test

Difference between bare and insulated wire (double film thickness)		Test voltage
mm	in	V
0.015 - 0.024	0.0005 - 0.0009	300
> 0.024 - 0.035	> 0.0009 - 0.0014	400
> 0.035 - 0.050	> 0.0014 - 0.0020	500
> 0.050 - 0.070	> 0.0020 - 0.0027	700
> 0.070 - 0.090	> 0.0027 - 0.0035	1 000
> 0.090 - 0.130	> 0.0035 - 0.0051	1 200

Note. — Test voltages are r.m.s. values at a frequency of 50 or 60 Hz (c/s).

5.3 Breakdown voltage tests

It may be desirable to determine the rate at which the electric strength of the test specimens is decreasing with ageing. The rate of decrease in electric strength may be determined by breaking down 5 to 10 test specimens after each temperature exposure time.

It is suggested that failure or end-of-life of the test specimens be taken as the ageing time necessary to reduce the voltage breakdown strength to 12 kV per millimetre (300 V per mil) based upon the original insulating film thickness.

The voltages given in Table III are selected to subject the insulation between the twisted wires to a stress above the air breakdown value for the spacing afforded by the insulating film separating the wires. These relatively high values are chosen so that cracking, crazing, or other deterioration of the enamel film can be readily detected.

5.4 Voltage test after humidity conditioning

When moisture exposure is included in the test cycle, the test specimen shall first be subjected to the test voltage specified in Table III. After the moisture exposure period and while the specimens are still within the conditioning chamber, a test voltage of 150 V a.c. r.m.s. shall be applied.

5.5 Application de la tension d'essai

Pour déceler les défauts, le dispositif de coupure du courant devra fonctionner lorsqu'un courant égal ou supérieur à 5 mA circule dans le circuit d'essai haute tension. La source devra pouvoir débiter un courant de 5 mA sans présenter une chute de tension supérieure à 10 %.

Les tensions d'essai seront appliquées aux éprouvettes pendant un temps d'au moins une seconde. Il convient de n'appliquer la tension d'essai que pendant un temps relativement court afin de réduire au minimum les effets des effluves et la fatigue diélectrique.

Dans tous les cas des précautions sont à prendre pour éviter de détériorer mécaniquement les éprouvettes en essai. Les éprouvettes qui sont détruites par l'application de la tension sont éliminées et les éprouvettes restantes sont remises en enceinte pour une nouvelle période d'exposition à l'action de la température.

Lorsque la tension de perforation est étudiée en fonction du temps de vieillissement, la tension doit être élevée d'une valeur minimale de 50 V jusqu'à la perforation à une cadence telle que la tension de perforation présumée soit atteinte en un minimum de 5 secondes. Lorsque la tension de perforation est égale ou supérieure à 2 500 V, la cadence d'élévation de la tension doit être de 500 V par seconde.

5.6 Inspection visuelle

Dans certains cas, une inspection visuelle avec un grossissement approprié des éprouvettes après leur détérioration donnera une meilleure appréciation du processus de vieillissement.

6. Compte rendu des résultats d'essais

6.1 Méthode pour la détermination de la durée moyenne de vie

La durée de vie d'une éprouvette est prise égale à la durée cumulée des cycles non suivis de perforation augmentée de la demi-durée du cycle à la fin duquel la perforation a été constatée.

Lorsque toutes les éprouvettes ont été détruites par application de la tension, la durée moyenne de vie est calculée à chaque température d'exposition. Il est conseillé de prendre pour durée moyenne de vie une moyenne logarithmique (anti-logarithme de la moyenne des logarithmes des durées de vie). L'écart type et les limites de la durée moyenne de vie pour une probabilité de 95 % peuvent être calculés en utilisant le logarithme des durées de vie. Ces valeurs peuvent fournir une indication de la précision avec laquelle sont obtenues les durées moyennes de vie à chaque température d'exposition.

Le traitement mathématique des renseignements sur la stabilité thermique sera décrit dans une prochaine publication de la C E I.

6.2 Détermination de la courbe de durée de vie en fonction de la température

L'endurance thermique peut être représentée graphiquement en reportant sur un papier à graphique spécial la durée moyenne de vie des éprouvettes (déterminée par une moyenne logarithmique) en fonction de la température d'exposition. Les durées de vie sont portées en ordonnées. Les températures d'exposition correspondantes sont portées en abscisses.

Si la détérioration de l'émail est régie par une réaction chimique unique, la courbe obtenue dans ces conditions sera approximativement une droite. Les paramètres nécessaires pour exprimer la relation sous une forme mathématique et les limites pour une probabilité de 95 % de la fonction présumée peuvent être déterminés par la méthode des moindres carrés. La forme sous laquelle peuvent être présentés les résultats obtenus suivant cette méthode d'essai est donnée à la figure 6, page 25.

5.5 Application of test voltage

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

The proof voltages shall be applied to the test specimens for a minimum time of one second. 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 test voltage are discarded and the remaining specimens are returned to the oven for another temperature exposure period.

When breakdown voltage is being studied as a function of ageing time, the voltage shall be raised from a minimum value of less than 50 V to breakdown at such a rate that the expected failure voltage will be reached in no less than 5 seconds. Where the breakdown voltage is equal to or greater than 2 500 V, the rate-of-rise shall be 500 V per second.

5.6 Visual inspection

In some cases, a visual inspection of the test specimens that have failed, with a suitable magnification, will give a better understanding of the ageing process.

6. Reporting the results of test

6.1 Methods for determining the average life

The hours to failure of a test specimen are calculated by taking the total exposure time the specimen received without failing the test voltage plus one-half of the exposure time of the period just prior to failure.

When all the specimens have failed the voltage test, the average life at each exposure temperature is calculated. It is recommended that the average life be a logarithmic average (anti-logarithm of the average of the logarithmic lives). The standard deviation of this life and the 95% confidence of this life may be calculated using logarithmic life values. From these values an indication of the accuracy of the average life values at each exposure temperature can be determined.

The mathematical treatment of thermal endurance data will be described in a future I E C publication.

6.2 Determining the life-temperature characteristic

The thermal endurance can be presented graphically by plotting the average life (determined as a logarithmic average) of the test specimens as a function of the exposure temperature on thermal endurance graph paper. Failure times are plotted against the ordinate. The corresponding exposure temperatures are plotted against the abscissa.

If the deterioration of the enamelled wire insulation is determined by a single chemical reaction, the plot on this paper will closely approximate a straight line. The parameters necessary for expressing the relationship in mathematical form, and the 95% confidence limits for the estimated function can be determined by the least squares method. The form of presentation of data obtained under this test procedure is illustrated in Figure 6, page 25.

6.3 *Compte rendu*

Le compte rendu des résultats d'essai pour la détermination de la durée de vie d'un matériau donné devra comporter les informations suivantes :

- 1) L'identification ou la description de l'émail et du conducteur (par exemple : cuivre, aluminium etc.).
- 2) L'identification ou la description du vernis d'imprégnation et le mode d'imprégnation utilisé.
- 3) Description de l'environnement lors de l'exposition à haute température ou pendant l'essai (voir paragraphes 4.2, 4.3 et 4.4).
- 4) Un tableau donnant pour chaque température le nombre d'heures d'exposition de chaque éprouvette jusqu'à perforation avec mention du nombre de cycles avant perforation et de la durée de chaque cycle.
- 5) La durée moyenne de vie des éprouvettes à chaque température d'exposition, déterminée suivant les indications du paragraphe 6.1.
- 6) Le nombre moyen de cycles à chaque température d'exposition.
- 7) L'écart type des durées de vie pour chaque température d'exposition, calculé suivant les indications du paragraphe 6.1.
- 8) Les limites de confiance de la durée moyenne de vie à chaque température d'exposition.
- 9) Le tracé de la courbe calculée passant au plus près des valeurs des durées moyennes de vie à chaque température d'exposition et les limites de cette droite pour une probabilité de 95%. Ces tracés doivent être obtenus en utilisant toutes les valeurs d'essai rassemblées ci-dessus en 5) et calculées par la méthode des moindres carrés.
- 10) Un tracé de la courbe de variation de la rigidité diélectrique en fonction du temps de vieillissement à chaque température d'essai (dans les cas où c'est applicable).

6.3 Report

The report of the results of the life testing of a single material should contain the following information :

- 1) Identification or description of the wire enamel and the wire it is coated on (i.e. copper, aluminium, etc.).
- 2) Identification or description of the impregnation varnish and varnishing process.
- 3) Description of environment during high temperature exposure or testing periods (see Sub-clauses 4.2, 4.3 and 4.4).
- 4) Hours to failure of each individual sample at each exposure temperature in tabular form, including the number of exposure cycles before failure and the length of the exposure cycle.
- 5) Average life of samples at each exposure temperature determined in accordance with Sub-clause 6.1.
- 6) Average number of cycles at each exposure temperature.
- 7) Standard deviation of the life values for each exposure temperature computed in accordance with Sub-clause 6.1.
- 8) Confidence limits on the life at each exposure temperature.
- 9) A graph of the computed "best fit" line through the average life values at each exposure temperature showing the 95% confidence limits on this line. These lines must be obtained using all of the test values assembled under step 5) above, and computed by the method of least squares.
- 10) A graph of electric strength as a function of ageing time at each exposure temperature (when applicable).

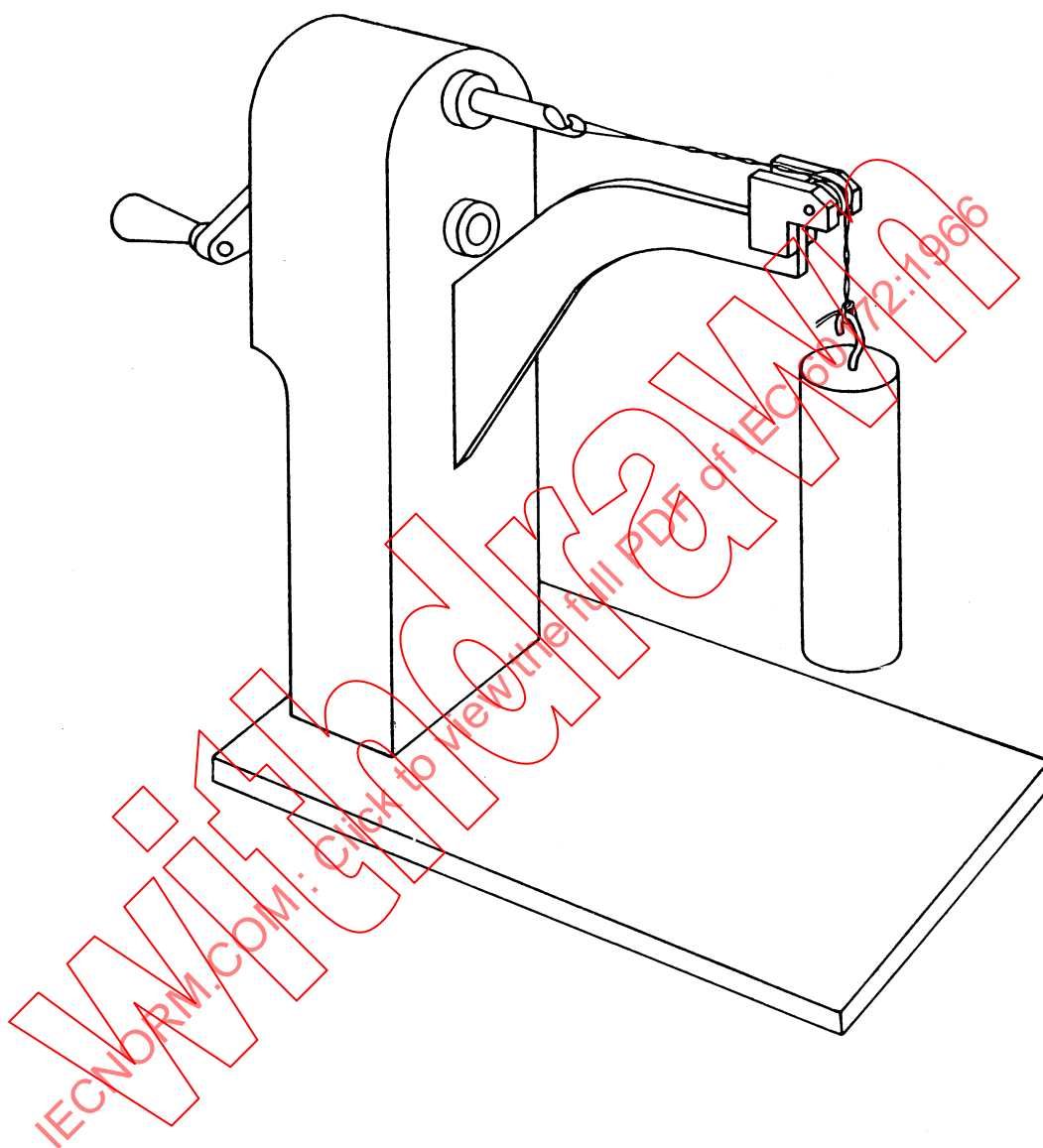


FIG. 1. — Dispositif pour la réalisation des éprouvettes.
Device used to form test specimen.