

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Electrical insulation systems – Procedures for thermal evaluation –
Part 1: General requirements – Low-voltage**

**Systèmes d'isolation électrique – Procédures d'évaluation thermique –
Partie 1: Exigences générales – Basse tension**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61857-1:2008



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2008 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

The IEC on-line Catalogue enables you to search by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details twice a month all new publications released. Available on-line and also by email.

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch
Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch
Tél.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00



IEC 61857-1

Edition 3.0 2008-09

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Electrical insulation systems – Procedures for thermal evaluation –
Part 1: General requirements – Low-voltage**

**Systèmes d'isolation électrique – Procédures d'évaluation thermique –
Partie 1: Exigences générales – Basse tension**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

P

ICS 29.080.30

ISBN 978-2-88910-581-6

CONTENTS

FOREWORD.....	3
INTRODUCTION.....	5
1 Scope.....	6
2 Normative references.....	6
3 Terms and definitions	6
4 General information	8
4.1 Overview of test procedure	8
4.2 Basis of evaluation and qualification	8
4.3 Specific requirements	8
5 Test objects.....	9
5.1 General	9
5.2 Description	9
5.3 Number of test objects.....	9
6 Test procedures.....	9
6.1 General	9
6.2 Initial screening tests	9
6.3 Thermal ageing	10
6.4 Prediagnostic mechanical stress	11
6.5 Other prediagnostic conditioning	11
6.6 Moisture exposure	12
6.7 Dielectric diagnostic tests	12
6.8 Other diagnostic tests	12
7 Analyzing, reporting and classification	12
7.1 End-point criterion	12
7.2 Method of determining life.....	13
7.3 Extrapolation of data.....	13
7.4 Report of results.....	14
Bibliography	16
Figure 1 – Arrhenius graph for comparing a candidate system C with a reference system R.....	15
Table 1 – Suggested ageing temperatures and ageing periods.....	10
Table 2 – Thermal class assignment	13

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**ELECTRICAL INSULATION SYSTEMS –
PROCEDURES FOR THERMAL EVALUATION –****Part 1: General requirements – Low-voltage****FOREWORD**

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61857-1 has been prepared by IEC technical committee 112: Evaluation and qualification of electrical insulating materials and systems.

This third edition cancels and replaces the second edition published in 2004, and constitutes editorial revisions to make this standard compatible with Parts 21 and 22.

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

CDV	Report on voting
112/92/CDV	112/102/RVC

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all the parts in the IEC 61857 series, under the general title *Electrical insulation systems – Procedures for thermal evaluation*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61857-1:2008

INTRODUCTION

This International Standard establishes a standardized test procedure for estimating by comparison the life expectancy of electrical insulation systems (EIS) in accordance with IEC 60505.

An EIS contains many different components selected to withstand the varying electrical, mechanical, and thermal stresses occurring in the different parts of the structure of an electrotechnical product. The useful life of an EIS depends upon the way that its individual components are arranged, their interactions upon each other, and the contribution of each component to the electrical and mechanical integrity of the EIS. Therefore, it is impossible to specify one test object to represent all electrotechnical products. It is incumbent upon the IEC equipment technical committees to address the test objects and application of this test procedure that will meet their specific needs. This work is intended to proceed by cooperation between this technical committee and other IEC technical committees to develop a series of parts, each part to address a specific test object and/or application.

This procedure permits approximate comparisons only, and cannot be relied upon to completely determine the merits of any particular EIS. Such information can be obtained only from extended service experience.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61857-1:2008

ELECTRICAL INSULATION SYSTEMS – PROCEDURES FOR THERMAL EVALUATION –

Part 1: General requirements – Low voltage

1 Scope

This part of IEC 61857 specifies a general test procedure for the thermal evaluation and qualification of electrical insulation systems (EIS) and establishes a procedure that compares the performance of a candidate EIS to that of a reference EIS.

This standard is applicable to existing or proposed EIS used in electrotechnical products with an input voltage of up to 1 000 V where the thermal factor is the dominating ageing factor.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60085:2004, *Electrical insulation – Thermal classification*

IEC 60216-4-1, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 4-1: Ageing ovens – Single chamber ovens*

IEC 60216-5, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 5: Determination of relative thermal endurance index (RTE) of an insulating material*

IEC 60493-1, *Guide for the statistical analysis of ageing test data – Part 1: Methods based on mean values of normally distributed test results*

IEC 60505:2004, *Evaluation and qualification of electrical insulation systems*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60505, as well as the following definitions, apply.

3.1

electrical insulation system

EIS

insulating structure containing one or more electrical insulating materials (EIM) together with associated conducting parts employed in an electrotechnical device

[IEC 60505, definition 3.1.1]

NOTE EIM with different temperature indices (ATE/RTE according to IEC 60216-5) may be combined to form an EIS which has a thermal class that may be higher or lower than that of any of the individual components according to IEC 60505.

3.2

candidate EIS

EIS under evaluation to determine its service capability (thermal)

3.3**reference EIS**

established EIS evaluated on the basis of either a known service experience record or a known comparative functional evaluation

3.4**thermal class**

designation of an EIS that is equal to the numerical value of the maximum use temperature in degrees Celsius (°C) for which the EIS is appropriate (see IEC 60085)

NOTE The EIS may be subjected to operating temperatures exceeding its thermal class which can result in shorter expected life.

3.5**EIS assessed thermal endurance index****EIS ATE**

numerical value of temperature in degrees Celsius for the reference EIS as derived from known service experience or a known comparative functional evaluation

3.6**EIS relative thermal endurance index****EIS RTE**

numerical value of the temperature in degrees Celsius for the candidate EIS which is relative to the known EIS ATE of a reference EIS, when both EIS are subjected to the same ageing and diagnostic procedures in a comparative test

3.7**test object**

sample of original equipment or part thereof, or model representing the equipment completely or partially, including the EIS, to be used in a functional test

3.8**thermal ageing factor**

thermal stress that causes irreversible changes of the properties of an EIS

3.9**prediagnostic conditioning**

variable or fixed stresses, which can be applied continuously or periodically to an EIS to enhance the ability of a functional test to detect the degree of ageing

NOTE Prediagnostic conditioning may cause additional ageing.

3.10**diagnostic test**

periodic or continuous application of a specified level of a diagnostic factor to a test object to determine whether or when the end-point criterion has been reached

3.11**end-point criterion**

value of either a property or change of property defining the end of life of a test object in a functional test

3.12**end-of-life**

end of a test object's life as determined by meeting its end-point criterion

4 General information

4.1 Overview of test procedure

This thermal ageing test procedure is based on the fact that, for most materials, thermal ageing is accelerated when temperature is raised, and that often the degree of acceleration obeys the Arrhenius law on chemical reaction rates. Based on this relationship, acceptable extrapolation of the ageing test results may be used to determine the anticipated thermal performance of the candidate EIS. Accelerated thermal testing requires the verification of an identical or equivalent ageing mechanism compared under operating service conditions.

Test objects consisting of the candidate EIS are exposed to thermal ageing cycles at selected temperatures. Each cycle consists of a specific time exposure at elevated temperature and a subcycle of exposure to prediagnostic conditioning and diagnostic tests. Prediagnostic conditioning may include mechanical stress, cold shock and moisture exposure. A dielectric diagnostic test is used to determine test life. A reference EIS is tested using the same test procedure. At each ageing temperature, the test life of the EIS is determined. Based on these test life values, the thermal class of the candidate EIS is estimated relative to the performance of the reference EIS in its thermal class.

4.2 Basis of evaluation and qualification

The functional testing and evaluation, according to this test procedure, shall be made on a comparative basis, using an established EIS as a reference which is tested with the candidate EIS in equivalent fashion.

If the thermal classes for the candidate and reference EIS differ, then appropriate ageing temperatures are used for each.

4.3 Specific requirements

Separate Parts in the IEC 61857 series address specific test objects and/or applications and test procedures.

Test objects are unique to each part because testing of specific electrotechnical products, or representations thereof, may yield results that are not applicable to other electrotechnical products.

Different electrotechnical products may also require alternative methods of thermal ageing and/or diagnostic tests due to design considerations or end-use requirements.

Each Part shall specify the following:

- scope: electrotechnical products that this test object represents;
- construction of the test object (5.2);
- number of test objects required (5.3);
- test procedures: specific requirements and means of testing for
 - initial dielectric diagnostic test (6.7.1);
 - prediagnostic mechanical stress (6.4);
 - other prediagnostic conditioning, as required (6.5);
 - moisture exposure (6.6);
 - dielectric diagnostic test (6.7.2), or other diagnostic test (6.8); and the end-point criterion;
 - thermal ageing: the means of heating, if other than ovens.

5 Test objects

5.1 General

Test objects may be actual electrotechnical products, components thereof, or non-functional models representing the products. Components and non-functional models should embody all the essential elements of the EIS used in the electrotechnical product. Identical test objects shall be used for the reference and candidate EIS.

5.2 Description

Specific test objects are described in each Part¹. Insulation thickness, creepage distances and discharge protection, where required, shall be appropriate for the intended maximum rated voltage and equipment standards in practice.

Particular types of non-functional test objects and alternative test procedures for specific electrotechnical products that have been used successfully may be found in the applicable Part.

Test objects shall be subjected to the quality control of the normal or intended production process.

5.3 Number of test objects

The number of test objects (representative of the EIS) in a group for each ageing temperature shall not be less than five.

NOTE A minimum of five test objects is required to obtain a good statistical average for the end-point analysis of the EIS under consideration.

The actual number of test objects shall be specified in the applicable part.

6 Test procedures

6.1 General

All test objects shall be subjected to initial screening tests followed by repeated thermal endurance test cycles in the following order:

- a thermal ageing subcycle;
- a subcycle of prediagnostic mechanical stress, other prediagnostic requirements and moisture exposure, in that order;
- a dielectric diagnostic test, or other diagnostic test.

It is recognized that, depending on the test facilities available, the type of equipment employed, and other factors, slight variations in the methods of exposing the test objects may be necessary. It is all important that when any two different EIS are compared, the test objects of each shall be subjected to identical exposures and other conditions of test. Unless otherwise specified, prediagnostic conditioning and diagnostic tests shall be carried out at room temperature (25 ± 5) °C and (50 ± 10) % relative humidity.

6.2 Initial screening tests

Prior to exposure to an elevated temperature on the first thermal ageing subcycle, all test objects shall be subjected to a visual inspection and initial screening tests in order to eliminate

¹ The technical committees responsible for equipment may use this test procedure to evaluate the candidate EIS for specific electrotechnical products, or for general purposes through use of an appropriate non-functional model.

defective test objects. The initial screening tests shall consist of the following steps and shall be conducted in the order given:

- initial dielectric diagnostic test (see 6.7.1 for details);
- prediagnostic mechanical stress (see 6.4 for details);
- other prediagnostic conditioning, as required (see 6.5 for details);
- moisture exposure (see 6.6 for details);
- dielectric diagnostic test (see 6.7.2), or other diagnostic test (see 6.8).

6.3 Thermal ageing

6.3.1 General

The thermal ageing portion of the cycle shall be conducted at a minimum of three different ageing temperatures. Greater precision may be obtained if tests are carried out at more than three temperatures. Additional test temperatures may be required to meet the criteria set forth in 6.3.2.

The ageing temperatures and the duration of exposure at each temperature are selected so as to reach the anticipated average test life in 5 to 10 test cycles for each set of test objects. Suggested ageing temperatures and ageing periods are given in Table 1.

Table 1 – Suggested ageing temperatures and ageing periods

Ageing period per cycle h	Ageing temperature for EIS with anticipated thermal classes of °C								
	90	105	120	130	155	180	200	220	250
504 to 840	105	120	135	145	170	195	215	235	265
48 to 336	120	135	150	160	185	215	235	255	285
24 to 72	135	150	165	175	200	235	255	275	305

Table 1 is intended to guide the selection of ageing temperatures and times. These suggested ageing temperatures and ageing periods do not describe any actual EIS and cannot be expected to result in the same end-points for all EIS. The life-temperature relationship for a specific EIS is relative and it should be compared to similar data for an EIS of known reliability and service life to be significant.

If the anticipated thermal class for the candidate EIS differs from the thermal class of the reference EIS, different ageing temperatures and ageing periods should be selected.

A preliminary ageing test at a given temperature may be performed to indicate the anticipated thermal class and other ageing temperatures and periods.

6.3.2 Ageing temperatures

To minimize the uncertainty introduced by extrapolation, the lowest test temperature should not exceed the temperature to which the results will be extrapolated by more than 25 K. The lowest ageing temperature shall result in a minimum log mean test life of 5 000 h. In addition, at least two higher ageing temperatures shall be selected, separated by intervals of 10 K or more. The highest ageing temperature shall result in a minimum log mean test life of 100 h. For EIM with a known melting point, the highest ageing temperature shall be at least 5 K below the melting point temperature.

6.3.3 Ageing periods

For each ageing temperature, there will be an assigned period of exposure. Suggested ageing periods are 24 h to 72 h for the highest ageing temperature, 48 h to 336 h for the intermediate ageing temperature, and 504 h to 840 h for the lowest ageing temperature. Based on the test data produced as the testing proceeds, the exposure period for the remaining test cycles may be doubled if less than one-half of the test objects reach end-of-life after completion of five cycles; it may be halved if one-third or more of the test objects reach end-of-life after completion of three cycles.

6.3.4 Means of heating

Thermal ageing may be carried out by placing the test objects in an accurately controlled and monitored oven with forced circulation as described in IEC 60216-4-1. The temperature throughout the oven shall be within ± 2 K for ageing temperatures up to 180 °C, and ± 3 K for ageing temperatures from 180 °C to 300 °C. Above 300 °C additional agreements on the required temperature accuracy should be made between parties.

Despite some evident disadvantages, ovens have been shown by experience to be a convenient and economical method of obtaining ageing temperatures. The oven method subjects all components of the EIS to the full ageing temperature.

However, the use of ovens for heating is not mandatory. Where the size of the electrotechnical product under test limits the use of ovens, or where there are other special considerations, a more direct means that more closely simulates service conditions may be used as specified in the applicable part, e.g. by means of current through windings in the test object.

6.3.5 Ageing procedure

For oven ageing, the test objects shall be placed directly into the preheated ageing oven at the beginning of the thermal ageing cycle, and removed from the oven directly to room temperature at the end of the ageing period. In order to diminish the effects of differences in actual ageing temperatures between individual test objects, the locations of the test objects in the ageing ovens should be randomized in successive thermal ageing cycles.

For other means of heating, test objects shall be brought to the ageing temperature in a minimum amount of time as described in the applicable Part.

NOTE Decomposition products should not influence the test significantly in any way other than normal operating conditions.

For all methods of thermal ageing, the test objects shall be immediately removed from the heating source and allowed to cool to room temperature at a natural rate prior to applying prediagnostic conditioning treatments.

6.4 Prediagnostic mechanical stress

Unless specified in the applicable part, each test object shall be subjected to a period of mechanical stress following each thermal ageing period. The procedure for applying this stress may vary with each type of test object and intended service, and should be specified in the applicable part. When applicable, the candidate and reference EIS shall be exposed to the same stress and duration of exposure at room temperature and humidity, and without any applied voltage.

6.5 Other prediagnostic conditioning

Exposure to other prediagnostic conditioning, such as thermal shock, may be performed according to end-use requirements, as specified in the applicable Part.

6.6 Moisture exposure

When specified in the applicable part, after thermal ageing, mechanical stress and other conditioning requirements, the test objects shall be exposed for 48 h in 95 % to 100 % relative humidity at 5 K to 10 K above room temperature with surface moisture present.

A suitable humidity chamber capable of maintaining the specified level of humidity shall be used.

6.7 Dielectric diagnostic tests

6.7.1 Initial dielectric diagnostic test

Initial dielectric diagnostic tests shall consist of the application of voltage stresses under conditions and at voltages consistent with the intended use of the electrotechnical product under test as specified in the applicable part.

6.7.2 Dielectric diagnostic test during ageing cycle

In order to check the condition of the test objects and determine end-of-life, the dielectric diagnostic test shall be applied after each successive exposure to moisture while the test objects are still in the humidity chamber or immediately after removal while still wet with moisture.

In certain cases, the presence of surface moisture may cause surface arcing or tracking; in such cases, the surface of the test object may be wiped free of water droplets immediately before application of the voltage.

6.8 Other diagnostic tests

Other diagnostic tests, such as insulation resistance, may also be used to determine end-of-life of a test object, e.g. by complementing the dielectric diagnostic tests. An end-point criterion may be established for each diagnostic test, with a suitable justification reported in the applicable part.

7 Analysing, reporting and classification

7.1 End-point criterion

The criterion by which a test object is considered to have failed shall be fully defined prior to the start of the test. An adequate test shall be included in the test cycle to detect when a failure occurs denoting end-of-life for each test object. The use of more than one end-point criterion will tend to make the interpretation of the test results more difficult. It is recommended that only one end-point criterion be used.

Failure of any component in the EIS constitutes failure of the entire test object and fixes the end-of-life.

NOTE Test objects may continue to be exposed to the thermal endurance test cycle in order to evaluate other components of the EIS.

The cause of all test object failures should be determined. End-of-life that can be attributed to a cause other than failure of the EIS should be disregarded. If a failure is not within the EIS, such as an open electrical connection, and can be repaired without disturbing the EIS, the test object may be put back on test.

7.2 Method of determining life

7.2.1 End-of-life

The end-of-life of a test object is assumed to have occurred at the midpoint of the ageing period between the last two consecutive applications of diagnostic tests: the one during which failure was observed and the last prior application of diagnostic tests with no failure.

7.2.2 Average life

The total number of hours of thermal ageing to end-of-life shall be recorded for each test object at each ageing temperature. The average life in hours at each ageing temperature shall be calculated as a geometric mean.

7.3 Extrapolation of data

Linear regression analysis in Arrhenius coordinates (log life versus reciprocal of the absolute temperature) shall be carried out in accordance with IEC 60216-5. Using the reference EIS test results, calculate the life in hours (t_R) at the EIS ATE (T_R) of the reference EIS. Using the test results for the candidate EIS, calculate the temperature (T_C) at the number of hours corresponding to t_R . T_C is the EIS RTE of the candidate EIS. The thermal class assigned to the candidate EIS shall be that which is equal to or less than T_C as shown in Table 2. If the EIS ATE (T_R) of the reference EIS is not available, the value in degrees Celsius of its thermal class shall be used.

Table 2 – Thermal class assignment

ATE or RTE °C		Thermal class °C	Letter designation ^a
≥90	<105	90	Y
≥105	<120	105	A
≥120	<130	120	E
≥130	<155	130	B
≥155	<180	155	F
≥180	<200	180	H
≥200	<220	200	N
≥220	<250	220	R
≥250 ^b	<275	250	–
^a If desired, the letter designation may be added in parentheses, e.g. Class 180 (H). Where space is a factor, such as on a nameplate, the product TC may elect to use only the letter designation. ^b Designations of thermal classes over 250 shall increase by increments of 25 and be designated accordingly.			

Results may be represented on a thermal endurance graph by plotting the mean life points (log means) as shown in Figure 1. Plot the reference EIS test results and extrapolate the line to its EIS ATE (T_R) and read the corresponding life in hours (t_R). Plot the test results for the candidate EIS. Extrapolate the line to t_R and read the corresponding temperature (T_C). T_C is the EIS RTE of the candidate EIS.

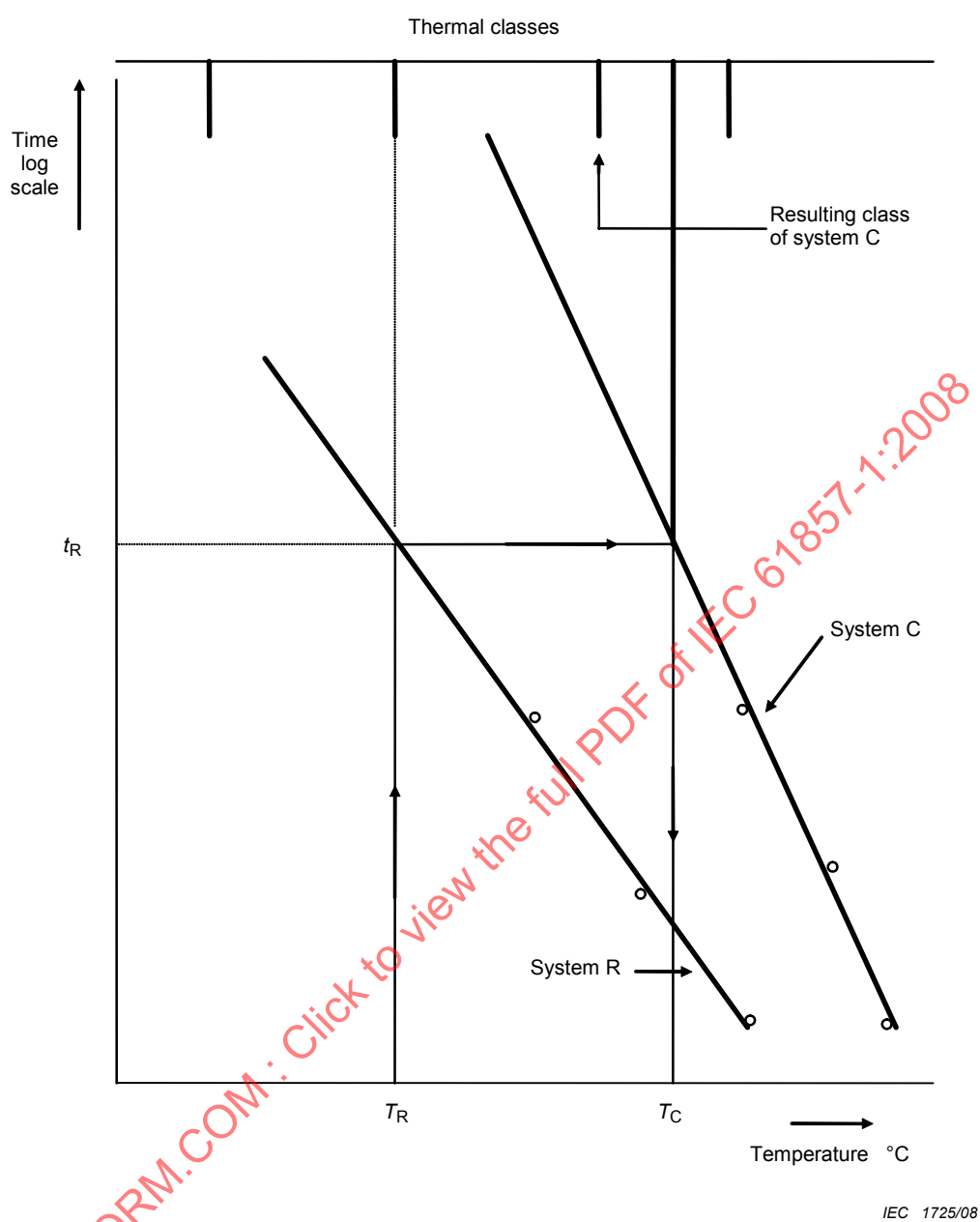
IEC 60493-1 describes how to test data for linearity. If the coefficient of correlation is greater than or equal to 0,95, the data is assumed to be linear. If the coefficient of correlation is greater than or equal to 0,90 but less than 0,95, it may indicate that ageing is being influenced by more than one chemical process or failure mechanism. Nevertheless, if very similar EIS belonging to the same thermal class are being compared, a valid classification of the candidate EIS may still be made. However, if the coefficient of correlation is less than 0,90, this may

indicate a significant change in the dominating ageing mechanism. Then the classification can be based only on the lower temperature portion of the curve, which shall be confirmed by an additional test point at a lower or intermediate temperature. It may be necessary to make a judgement on the basis of experience as to whether the time and cost of this further testing is justified, or can be abandoned.

7.4 Report of results

The report of the results of this test shall include all records, relevant details of the test, and analysis, including:

- reference to this IEC test standard and applicable part;
- description of the EIS tested (the reference and candidate EIS);
- ageing temperatures and ageing periods for each EIS;
- prediagnostic conditioning and diagnostic tests used with applied test or stress levels, for each EIS;
- detailed description of the test objects;
- number of test objects at each temperature for each EIS;
- method of obtaining the ageing temperatures (including oven type, etc.);
- rate of air replacement, if applicable;
- individual times to end-of-life, and mode of failure;
- mean log times to end-of-life for each ageing temperature, for each EIS;
- regression line with log mean points;
- regression equation and coefficient of correlation;
- EIS ATE/thermal class of the reference EIS;
- EIS RTE/thermal class of the candidate EIS.



IEC 1725/08

Figure 1 – Arrhenius graph for comparing a candidate system C with a reference system R

Bibliography

IEC 60034-18-1:1992, *Functional evaluation of insulation systems for rotating electrical machines – Part 18-1:General guidelines*

IEC 60034-18-21:1992, *Rotating electrical machines – Part 18: Functional evaluation of insulation systems – Section 21: Test procedures for wire-wound windings – Thermal evaluation and classification*

IEC 60034-18-31:1992, *Rotating electrical machines – Part 18: Functional evaluation of insulation systems – Section 31: Test procedures for form-wound windings – Thermal evaluation and classification of insulation systems used in machines up to and including 50 MVA and 15 kV*

IEC 60611:1978, *Guide for the preparation of test procedures for evaluating the thermal endurance of electrical insulation systems* (this publication was withdrawn in 2000)

IEC 60791:1984, *Performance evaluation of insulation systems based on service experience and functional tests* (this publication was withdrawn in 2004 and replaced by IEC 60505)

IEC 62114:2001, *Electrical insulation systems (EIS) – Thermal classification tests* (this publication was withdrawn in 2007 and replaced by 60085)

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61857-1:2008

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61857-1:2008

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	19
INTRODUCTION	21
1 Domaine d'application	22
2 Références normatives	22
3 Termes et définitions	22
4 Information générale	24
4.1 Vue d'ensemble de la procédure d'essai	24
4.2 Base de l'évaluation et de la qualification	24
4.3 Exigences particulières	24
5 Epreuves	25
5.1 Généralités	25
5.2 Description	25
5.3 Nombre d'épreuves	25
6 Procédures d'essai	25
6.1 Généralités	25
6.2 Essais de sélection préliminaire	26
6.3 Vieillessement thermique	26
6.4 Contraintes mécaniques de prédiagnostic	28
6.5 Autre conditionnement de prédiagnostic	28
6.6 Exposition à l'humidité	28
6.7 Essais de diagnostic diélectrique	28
6.8 Autres essais de diagnostic	28
7 Analyse, compte rendu et classification	29
7.1 Critère de fin de vie	29
7.2 Méthode de détermination de la durée de vie	29
7.3 Extrapolation des données	29
7.4 Compte rendu des résultats	30
Bibliographie	32
Figure 1 – Diagramme d'Arrhenius pour la comparaison d'un système candidat C avec un système de référence R.....	31
Tableau 1 – Températures et durées de vieillissement proposées.....	26
Tableau 2 – Evaluation de la classe thermique	30

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

SYSTÈMES D'ISOLATION ÉLECTRIQUE – PROCÉDURES D'ÉVALUATION THERMIQUE –

Partie 1: Exigences générales – Basse tension

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61857-1 a été établie par le comité d'études 112 de la CEI: Evaluation et qualification des systèmes et matériaux d'isolement électrique.

Cette troisième édition annule et remplace la seconde édition publiée en 2004, et elle constitue une révision rédactionnelle pour rendre la présente norme compatible avec les Parties 21 et 22.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

CDV	Rapport de vote
112/92/CDV	112/102/RVC

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 61857, présentées sous le titre général *Systèmes d'isolation électriques – Procédures d'évaluation thermique*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61857-1:2008

INTRODUCTION

La présente Norme internationale établit une procédure d'essai normalisée pour évaluer par comparaison l'espérance de vie des systèmes d'isolation électrique (SIE) conformément à la CEI 60505.

Un SIE contient plusieurs composants différents choisis pour supporter des contraintes électriques, mécaniques et thermiques diverses se produisant dans les différentes parties constitutives de la structure d'un produit électrotechnique. La durée de vie utile d'un SIE dépend de la disposition de ses composants individuels, de leurs interactions les uns avec les autres, et de la contribution de chaque composant à l'intégrité électrique et mécanique du SIE. Par conséquent, il est impossible de spécifier une éprouvette pour représenter tous les produits électrotechniques. Il incombe aux comités d'études de la CEI responsables du matériel de définir les éprouvettes et l'application de cette procédure d'essai satisfaisant à leurs besoins particuliers. Il est prévu que ce travail soit effectué conjointement par plusieurs comités d'études de la CEI responsables du développement d'une série de parties, chacune visant à définir une éprouvette et/ou une application particulière.

Cette procédure permet uniquement des comparaisons approximatives et ne peut pas être considérée comme totalement fiable pour déterminer les mérites d'un quelconque SIE. particulier. De telles informations peuvent uniquement être obtenues à partir d'une longue expérience en service.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61857-1:2008

SYSTÈMES D'ISOLATION ÉLECTRIQUE – PROCÉDURES D'ÉVALUATION THERMIQUE –

Partie 1: Exigences générales – Basse tension

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 61857 spécifie une procédure d'essai générale pour une évaluation thermique et une qualification des systèmes d'isolation électrique (SIE), et établit une procédure comparant la qualité de fonctionnement d'un SIE candidat à celle d'un SIE de référence.

Cette norme s'applique aux SIE existants ou proposés, utilisés dans les produits électrotechniques dont la tension d'entrée monte jusqu'à 1 000 V pour lesquels le facteur thermique est le facteur de vieillissement prépondérant.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60085:2004, *Isolation électrique – Classification thermique*

IEC 60216-4-1, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 4-1: Ageing ovens – Single chamber ovens* (disponible uniquement en anglais)

CEI 60216-5, *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique – Partie 5: Détermination de l'indice d'endurance thermique relatif (RTE) d'un matériau isolant*

CEI 60493-1, *Guide pour l'analyse statistique de données d'essai de vieillissement – Partie 1: Méthodes basées sur les valeurs moyennes de résultats d'essais normalement distribués*

CEI 60505:2004, *Evaluation et qualification des systèmes d'isolation électrique*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et les définitions donnés dans la CEI 60505, ainsi que les définitions suivantes, s'appliquent.

3.1

système d'isolation électrique

SIE

structure isolante contenant un ou plusieurs matériaux isolants électriques (MIE) en même temps que les parties conductrices associées utilisées dans un dispositif électrotechnique

[CEI 60505, définition 3.1.1]

NOTE Les SIE ayant des indices de température différents (ATE/RTE conformément à la CEI 60216-5) peuvent être combinés pour former un SIE ayant une classe thermique pouvant être plus élevée ou plus basse que celle de n'importe lequel des composants individuels, conformément à la CEI 60505.

3.2

SIE candidat

SIE en évaluation pour déterminer son aptitude (thermique) en service

3.3

SIE de référence

SIE établi, évalué sur la base d'une expérience en service connue ou d'une évaluation fonctionnelle comparative connue

3.4

classe thermique

dénomination se rapportant à un SIE qui est égale à la valeur numérique de la température maximale d'utilisation exprimée en degrés Celsius (°C) pour laquelle le SIE est approprié (voir la CEI 60085)

NOTE Le SIE peut être soumis à des températures de fonctionnement dépassant sa classe thermique, ce qui peut entraîner la diminution de la durée de vie escomptée.

3.5

indice d'endurance thermique évaluée d'un SIE

SIE ATE

valeur numérique de température, en degrés Celsius, du SIE de référence et déduite de l'expérience en service connue ou de l'évaluation fonctionnelle comparative connue

3.6

indice relatif d'endurance thermique d'un SIE

SIE RTE

valeur numérique de la température exprimée en degrés Celsius pour le SIE candidat obtenue à partir du SIE ATE connu d'un SIE de référence, lorsque les deux SIE sont soumis au même processus de vieillissement et de diagnostic, dans un essai comparatif

3.7

épreuve

échantillon du matériel d'origine ou d'une partie de ce dernier ou modèle représentant complètement ou partiellement le matériel, y compris le SIE, à utiliser dans un essai fonctionnel

3.8

facteur de vieillissement thermique

contrainte thermique pouvant provoquer des variations irréversibles des propriétés d'un SIE

3.9

conditionnement de prédiagnostic

contraintes variables ou fixes pouvant être appliquée en permanence ou périodiquement à un SIE pour augmenter l'aptitude d'un essai fonctionnel à détecter son vieillissement

NOTE Le conditionnement de prédiagnostic peut engendrer un vieillissement supplémentaire.

3.10

essai de diagnostic

application périodique ou continue d'un niveau spécifié de facteur de diagnostic à une éprouvette pour déterminer si le critère de fin de vie a été atteint ou quand ce dernier a été atteint

3.11

critère de fin de vie

valeur choisie pour une propriété ou pour la modification d'une propriété définissant la fin de vie d'une éprouvette dans un essai fonctionnel

3.12

fin de vie

fin de la durée de vie d'une éprouvette telle que déterminée par sa correspondance avec le critère de fin de vie

4 Information générale

4.1 Vue d'ensemble de la procédure d'essai

La procédure d'essai pour le vieillissement thermique est basée sur le fait que le vieillissement thermique, de la plupart des matériaux, est accéléré si la température s'élève, et que souvent le degré d'accélération obéit à la loi d'Arrhénius relative aux taux de réaction chimique. A partir de cette relation, il est possible d'utiliser une extrapolation acceptable des résultats d'essai du vieillissement pour déterminer la qualité de fonctionnement thermique prévisible du SIE candidat. Les essais thermiques accélérés nécessitent la vérification d'un mécanisme de vieillissement identique ou équivalent comparé pour des conditions de fonctionnement en service.

Les éprouvettes constituées du SIE candidat sont exposées à des cycles de vieillissement thermique pour des températures choisies. Chaque cycle est composé d'une durée d'exposition particulière à température élevée et d'un sous-cycle d'exposition à un conditionnement de prédiagnostic et à des essais de diagnostic. Le conditionnement de prédiagnostic peut être constitué de contraintes mécaniques, de chocs au froid et d'expositions à l'humidité. Un essai de diagnostic diélectrique est utilisé pour déterminer la durée de vie d'essai. Un SIE de référence est soumis aux essais en utilisant la même procédure d'essai. Pour chaque température de vieillissement, la durée de vie d'essai du SIE est déterminée. A partir des valeurs de cet essai de durée de vie, la classe thermique SIE candidat est estimée par rapport à la qualité de fonctionnement du SIE de référence selon sa classe thermique.

4.2 Base de l'évaluation et de la qualification

L'essai fonctionnel et l'évaluation, en conformité avec cette procédure d'essai, doivent être réalisés sur la base de comparaisons, en utilisant un SIE évalué, utilisé comme référence et qui est soumis aux essais avec le SIE candidat de manière équivalente.

Si les classes thermiques des SIE candidats et de référence diffèrent, des températures de vieillissement appropriées à chaque système sont alors utilisées pour chacun d'eux.

4.3 Exigences particulières

Des différentes Parties de la série CEI 61857 traitent d'une éprouvette particulière et/ou d'une application ainsi que d'une procédure d'essai.

Les éprouvettes sont uniques pour chaque partie car l'essai de produits électrotechniques particuliers, ou de parties représentatives de ceux-ci, peut produire des résultats qui ne s'appliquent pas à d'autres produits électrotechniques.

Des produits électrotechniques différents peuvent également nécessiter d'autres méthodes de vieillissement thermique et/ou d'autres essais de diagnostic en raison de considérations de conception et/ou d'exigences d'utilisation finale.

Chaque Partie doit spécifier les points suivants:

- domaine d'application: produits électrotechniques que cette éprouvette représente;
- construction de l'éprouvette (5.2);
- nombre d'éprouvettes nécessaires (5.3);
- procédures d'essai: exigences et moyens d'essai particuliers pour

- un essai de diagnostic diélectrique préliminaire (6.7.1);
- des contraintes mécaniques de prédiagnostic (6.4);
- d'autres conditionnements de prédiagnostic, selon ce qui est demandé (6.5);
- une exposition à l'humidité (6.6);
- des essais de diagnostic diélectriques (6.7.2), ou d'autres essais de diagnostic (6.8), et le critère de fin de vie;
- le vieillissement thermique: les moyens de chauffage, s'il ne s'agit pas d'étuves.

5 Epreuves

5.1 Généralités

Les épreuves peuvent être des produits électrotechniques réels, des composants de ceux-ci, ou des modèles non fonctionnels représentant les produits. Il convient que les composants et les modèles non fonctionnels contiennent tous les éléments essentiels du SIE utilisé dans le produit électrotechnique. Des épreuves identiques doivent être utilisées comme SIE de référence et comme SIE candidat.

5.2 Description

Les épreuves particulières sont décrites dans chaque Partie¹. Les épaisseurs d'isolant, les lignes de fuites, et les protections contre les décharges, là où elles sont nécessaires, doivent être adaptées à la tension maximale assignée envisagée et aux normes de matériel en usage.

Il est possible de trouver dans la Partie correspondante des types particuliers d'épreuves non fonctionnelles et d'autres procédures d'essai pour les produits électrotechniques particuliers ayant été utilisés avec succès.

Les épreuves doivent être soumises au contrôle de la qualité normalement retenu ou envisagé pour la production.

5.3 Nombre d'épreuves

Le nombre d'épreuves (représentatif du SIE) par groupe, pour chaque température de vieillissement, ne doit pas être inférieur à cinq.

NOTE Un nombre minimal de cinq épreuves est nécessaire pour obtenir une bonne moyenne statistique pour l'analyse de la fin de vie du SIE à l'étude.

Le nombre réel d'épreuves doit être spécifié dans la partie correspondante.

6 Procédures d'essai

6.1 Généralités

Toutes les épreuves doivent être soumises à l'essai de vérification préliminaire, suivi de cycles d'essai d'endurance thermiques répétés, dans l'ordre suivant:

- un sous-cycle de vieillissement thermique;
- un sous-cycle de contraintes mécaniques de prédiagnostic, d'autres exigences de prédiagnostic, et d'exposition à l'humidité, dans cet ordre;
- un essai de diagnostic diélectrique, ou d'autres essais de diagnostic.

¹ Les comités d'études responsables de matériels peuvent utiliser cette procédure d'essai pour l'évaluation de SIE candidats destinés à des produits électrotechniques particuliers, ou à une utilisation générale, en utilisant un modèle non fonctionnel approprié.

Il est reconnu que, selon les possibilités d'essai disponibles, le type de matériel utilisé et d'autres facteurs, de légères variations dans les méthodes d'exposition des éprouvettes peuvent être nécessaires. Quand deux SIE quelconques sont comparés, il est très important que les deux éprouvettes soient soumises à des expositions identiques et de même pour les autres conditions d'essai. Sauf spécification contraire, le conditionnement de prédiagnostic et les essais de diagnostic doivent être réalisés à température ambiante (25 ± 5) °C, et (50 ± 10) % d'humidité relative.

6.2 Essais de vérification initiale

A l'occasion du premier sous-cycle de vieillissement et avant de les exposer à une température élevée, toutes les éprouvettes doivent être soumises à un contrôle visuel et à des essais de vérification préliminaire afin d'éliminer les éprouvettes défectueuses. Les essais de vérification préliminaire doivent comporter les étapes suivantes qui doivent être conduites dans l'ordre indiqué:

- essai de diagnostic diélectrique préliminaire (pour les détails, voir 6.7.1);
- contrainte mécanique de prédiagnostic (pour les détails, voir 6.4);
- autres conditionnements de prédiagnostic, selon ce qui est demandé (pour les détails, voir 6.5);
- exposition à l'humidité (pour les détails, voir 6.6);
- essai de diagnostic diélectrique (voir 6.7.2) ou autres essais de diagnostic (voir 6.8).

6.3 Vieillissement thermique

6.3.1 Généralités

La partie relative au vieillissement thermique du cycle doit être conduite au minimum avec trois températures de vieillissement différentes. Une plus grande précision peut être obtenue si les essais sont réalisés à plus de trois températures. Des températures d'essai supplémentaires peuvent être nécessaires pour satisfaire au critère indiqué plus loin en 6.3.2.

Les températures de vieillissement et la durée d'exposition à chaque température sont choisies de façon à atteindre la durée de vie moyenne en essai en 5 à 10 cycles, pour chaque ensemble d'éprouvettes. Les températures de vieillissement proposées et les durées de vieillissement sont données dans le Tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1 – Températures et durées de vieillissement proposées

Durée de vieillissement par cycle h	Température de vieillissement pour les SIE avec la classe thermique supposée °C								
	90	105	120	130	155	180	200	220	250
504 à 840	105	120	135	145	170	195	215	235	265
48 à 336	120	135	150	160	185	215	235	255	285
24 à 72	135	150	165	175	200	235	255	275	305

Le Tableau 1 est destiné à guider le choix des températures et des durées de vieillissement. Les températures et les durées de vieillissement proposées ne décrivent pas un quelconque SIE réel et il n'est pas possible de considérer qu'elles donnent les mêmes fins de vie pour tous les SIE. La relation existant entre la durée de vie et la température pour un SIE particulier est relative, et il convient qu'elle soit comparée aux données similaires concernant un SIE de sûreté de fonctionnement et de durée de vie en service connues comme étant caractéristiques.

Si la classe thermique envisagée pour un SIE candidat diffère de la classe thermique du SIE de référence, il convient de choisir des températures et des durées de vieillissement différentes.