

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety –
Electrical equipment condition monitoring methods –
Part 3: Elongation at break**

**Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation et contrôle-commande
importants pour la sûreté – Méthodes de surveillance de l'état des matériels
électriques –
Partie 3: Allongement à la rupture**





THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2012 IEC, Geneva, Switzerland

Copyright © 2012 IEEE

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 being secured.

Requests for permission to reproduce should be addressed to either IEC at the address below or IEC's member National Committee in the country of the requester or from IEEE.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch

Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
3 Park Avenue
New York, NY 10016-5997
United States of America
stds.ipr@ieee.org
www.ieee.org

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 the IEEE

IEEE is the world's largest professional association dedicated to advancing technological innovation and excellence for the benefit of humanity. IEEE and its members inspire a global community through its highly cited publications, conferences, technology standards, and professional and educational activities.

About IEC/IEEE publications

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

Useful links:

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables you to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...).

It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEEE products and services - www.ieee.org/go/shop

IEEE publishes nearly a third of the world's technical literature in electrical engineering, computer science, and electronics. Browse the latest publications including standards, draft standards, standards collections, and much more.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) on-line.

Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: csc@iec.ch.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety –
Electrical equipment condition monitoring methods –
Part 3: Elongation at break**

**Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation et contrôle-commande
importants pour la sûreté – Méthodes de surveillance de l'état des matériels
électriques –
Partie 3: Allongement à la rupture**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

T

ICS 27.120.20

ISBN 978-2-83220-424-5

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

FOREWORD	4
INTRODUCTION	6
1 Scope and object	8
2 Terms and definitions	8
3 General description	9
4 Applicability and reproducibility	9
5 Measurement procedure	9
5.1 Stabilisation of the polymeric materials	9
5.2 Sampling	9
5.2.1 General	9
5.2.2 Sample requirements	10
5.3 Specimen preparation	10
5.3.1 General	10
5.3.2 Dumb-bell specimens	11
5.3.3 Tubular specimens	11
5.3.4 O-ring specimens	11
5.4 Instrumentation	11
5.4.1 Tensile test machine	11
5.4.2 Calibration	11
5.4.3 Use of extensometers	11
5.5 Tensile elongation measurement method	12
5.5.1 Conditioning	12
5.5.2 Dimensions of test specimens	12
5.5.3 Clamping	12
5.5.4 Testing speed	12
5.5.5 Recording data	13
5.5.6 Calculation of results	13
5.6 Measurement report	14
Annex A (informative) Shape and dimensions of test specimens	15
Annex B (informative) Preparation of test specimens from cable samples	18
Annex C (informative) Typical load versus elongation curves	20
Annex D (normative) Dies for cutting dumb-bell specimens	22
Annex E (informative) Example of a measurement report from tensile elongation measurements	23
Bibliography	24
Figure A.1 – Shape of dumb-bell specimens	15
Figure A.2 – Fitting end tabs to tubular specimens	16
Figure A.3 – Fitting soft inserts to tubular specimens	17
Figure A.4 – Mounting of O-ring specimens in the test machine	17
Figure C.1 – Typical load-elongation curves	20
Figure C.2 – Typical load-time curve with a slipping specimen	21
Figure D.1 – Suitable cutters for dumb-bell specimens	22

Table 1 – Testing speeds for elongation measurements	12
Table A.1 – Recommended dimensions for dumb-bell specimens	15

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

NUCLEAR POWER PLANTS – INSTRUMENTATION AND CONTROL IMPORTANT TO SAFETY – ELECTRICAL EQUIPMENT CONDITION MONITORING METHODS –

Part 3: Elongation at break

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.

IEEE Standards documents are developed within IEEE Societies and Standards Coordinating Committees of the IEEE Standards Association (IEEE-SA) Standards Board. IEEE develops its standards through a consensus development process, which brings together volunteers representing varied viewpoints and interests to achieve the final product. Volunteers are not necessarily members of IEEE and serve without compensation. While IEEE administers the process and establishes rules to promote fairness in the consensus development process, IEEE does not independently evaluate, test, or verify the accuracy of any of the information contained in its standards. Use of IEEE Standards documents is wholly voluntary. IEEE documents are made available for use subject to important notices and legal disclaimers (see <http://standards.ieee.org/IPR/disclaimers.html> for more information).

IEC collaborates closely with IEEE in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.

- 2) The formal decisions 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. The formal decisions of IEEE on technical matters, once consensus within IEEE Societies and Standards Coordinating Committees has been reached, is determined by a balanced ballot of materially interested parties who indicate interest in reviewing the proposed standard. Final approval of the IEEE standards document is given by the IEEE Standards Association (IEEE-SA) Standards Board.
- 3) IEC/IEEE Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees/IEEE Societies in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC/IEEE Publications is accurate, IEC or IEEE 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 (including IEC/IEEE Publications) transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC/IEEE Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC and IEEE do not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC and IEEE are not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or IEEE or their directors, employees, servants or agents including individual experts and members of technical committees and IEC National Committees, or volunteers of IEEE Societies and the Standards Coordinating Committees of the IEEE Standards Association (IEEE-SA) Standards Board, 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/IEEE Publication or any other IEC or IEEE 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 implementation of this IEC/IEEE Publication may require use of material covered by patent rights. By publication of this standard, no position is taken with respect to the existence or validity of any patent rights in connection therewith. IEC or IEEE shall not be held responsible for identifying Essential Patent Claims for which a license may be required, for conducting inquiries into the legal validity or scope of Patent Claims or determining whether any licensing terms or conditions provided in connection with submission of a Letter of Assurance, if any, or in any licensing agreements are reasonable or non-discriminatory. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any patent rights, and the risk of infringement of such rights, is entirely their own responsibility.

International Standard IEC/IEEE 62582-3 has been prepared by subcommittee 45A: Instrumentation and control of nuclear facilities, of IEC technical committee 45: Nuclear instrumentation, in cooperation with the Nuclear Power Engineering Committee of the Power & Energy Society of the IEEE¹, under the IEC/IEEE Dual Logo Agreement.

This publication is published as an IEC/IEEE Dual Logo standard.

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

FDIS	Report on voting
45A/887/FDIS	45A/891/RVD

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

International standards are drafted in accordance with the rules given in the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all parts of IEC/IEEE 62582, under the general title *Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – Electrical equipment condition monitoring methods*, can be found on the IEC website.

The IEC Technical Committee and IEEE Technical Committee have decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability 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.

¹ A list of IEEE participants can be found at the following URL: http://standards.ieee.org/downloads/62582-3/62582-3-2012/62582-3-2012_wg-participants.pdf.

INTRODUCTION

a) Technical background, main issues and organisation of the standard

This part of this IEC/IEEE standard specifically focuses on elongation at break methods for condition monitoring for the management of ageing of electrical equipment installed in nuclear power plants. The method is primarily suited to samples taken from equipment that are based on thermoplastic or elastomeric polymers.

This part of IEC/IEEE 62582 is the third part of the IEC/IEEE 62582 series. It contains detailed descriptions of condition monitoring based on elongation at break measurements.

The IEC/IEEE 62582 series is issued with a joint logo which makes it applicable to management of ageing of electrical equipment qualified to IEEE as well as IEC Standards.

Historically, IEEE Std 323-2003 introduced the concept and role that condition based qualification could be used in equipment qualification as an adjunct to qualified life. In equipment qualification, the condition of the equipment for which acceptable performance was demonstrated is the qualified condition. The qualified condition is the condition of equipment, prior to the start of a design basis event, for which the equipment was demonstrated to meet the design requirements for the specified service conditions.

Significant research has been performed on condition monitoring techniques and the use of these techniques in equipment qualification as noted in NUREG/CR-6704, vol.2 (BNL-NUREG-52610) and JNES-SS-0903, 2009.

It is intended that this IEC/IEEE standard be used by test laboratories, operators of nuclear power plants, systems evaluators and licensors.

b) Situation of the current Standard in the structure of the IEC SC 45A standard series

Part 3 of IEC/IEEE 62582 is the third level IEC SC 45A document tackling the specific issue of application and performance of elongation at break measurements in management of ageing of electrical instrument and control equipment in nuclear power plants.

Part 3 of IEC/IEEE 62582 is to be read in association with part 1 of IEC/IEEE 62582, which provides requirements for application of methods for condition monitoring of electrical equipment important to safety of nuclear power plants.

For more details on the structure of the IEC SC 45A standard series, see item d) of this introduction.

c) Recommendations and limitations regarding the application of this Standard

It is important to note that this Standard establishes no additional functional requirements for safety systems.

d) Description of the structure of the IEC SC 45A standard series and relationships with other IEC documents and other bodies documents (IAEA, ISO)

The top-level document of the IEC SC 45A standard series is IEC 61513. It provides general requirements for I&C systems and equipment that are used to perform functions important to safety in NPPs. IEC 61513 structures the IEC SC 45A standard series.

IEC 61513 refers directly to other IEC SC 45A standards for general topics related to categorization of functions and classification of systems, qualification, separation of systems, defence against common cause failure, software aspects of computer-based systems,

hardware aspects of computer-based systems, and control room design. The standards referenced directly at this second level should be considered together with IEC 61513 as a consistent document set.

At a third level, IEC SC 45A standards not directly referenced by IEC 61513 are standards related to specific equipment, technical methods, or specific activities. Usually these documents, which make reference to second-level documents for general topics, can be used on their own.

A fourth level extending the IEC SC 45 standard series, corresponds to the Technical Reports which are not normative.

IEC 61513 has adopted a presentation format similar to the basic safety publication IEC 61508 with an overall safety life-cycle framework and a system life-cycle framework. Regarding nuclear safety, it provides the interpretation of the general requirements of IEC 61508-1, IEC 61508-2 and IEC 61508-4, for the nuclear application sector, regarding nuclear safety. In this framework IEC 60880 and IEC 62138 correspond to IEC 61508-3 for the nuclear application sector. IEC 61513 refers to ISO as well as to IAEA GS-R-3 and IAEA GS-G-3.1 for topics related to quality assurance (QA).

The IEC SC 45A standards series consistently implements and details the principles and basic safety aspects provided in the IAEA code on the safety of NPPs and in the IAEA safety series, in particular the Requirements NS-R-1, establishing safety requirements related to the design of Nuclear Power Plants, and the Safety Guide NS-G-1.3 dealing with instrumentation and control systems important to safety in Nuclear Power Plants. The terminology and definitions used by SC 45A standards are consistent with those used by the IAEA.

NOTE It is assumed that for the design of I&C systems in NPPs that implement conventional safety functions (e.g. to address worker safety, asset protection, chemical hazards, process energy hazards) international or national standards would be applied, that are based on the requirements of a standard such as IEC 61508.

NUCLEAR POWER PLANTS – INSTRUMENTATION AND CONTROL IMPORTANT TO SAFETY – ELECTRICAL EQUIPMENT CONDITION MONITORING METHODS –

Part 3: Elongation at break

1 Scope and object

This part of IEC/IEEE 62582 contains methods for condition monitoring of organic and polymeric materials in instrumentation and control systems using tensile elongation techniques in the detail necessary to produce accurate and reproducible measurements. It includes the requirements for selection of samples, the measurement system and conditions, and the reporting of the measurement results.

The different parts of IEC/IEEE 62582 are measurement standards, primarily for use in the management of ageing in initial qualification and after installation. Part 1 of IEC/IEEE 62582 General includes requirements for the application of the other parts of IEC/IEEE 62582 and some elements which are common to all methods. Information on the role of condition monitoring in qualification of equipment important to safety is found in IEEE Std 323.

This standard is intended for application to non-energised equipment.

2 Terms and definitions

For the purposes of this standard, the following terms and definitions apply.

2.1

elongation

tensile strain expressed as a percentage of the test length, produced in the piece by a tensile stress

[SOURCE: ISO 37:2011]

2.2

elongation at break

tensile strain in the test length at the breaking point

[SOURCE: ISO 37:2011]

2.3

nominal elongation at break

tensile strain, expressed as a percentage of the specimen length between the grips, produced in the specimen at the breaking point

2.4

gauge length

initial distance between the gauge marks on the central part of the test specimen. It is expressed in millimetres (mm)

Note 1 to entry: See figures of the test specimens in the relevant part of ISO 527.

[SOURCE: ISO 527-1:2012]

2.5

speed of testing

rate of separation of the grips of the testing machine during the test. It is in millimetres per minute (mm/min)

[SOURCE: ISO 527-1:2012]

3 General description

A test specimen is extended along its longitudinal axis at constant speed until the specimen fractures. During the test, the load sustained on the specimen and its elongation are measured. For this standard, elongation at break is the measured parameter.

NOTE Elongation at break rather than tensile strength is used because for some polymers, particularly thermoplastics, the strength may remain consistently equal to the yield strength after ageing even when the elongation has decreased to < 50 % absolute.

4 Applicability and reproducibility

The method is related to the long chain molecular structure of the polymer. As degradation proceeds, changes in the molecular structure occur as a result of cross-linking, chain scission, oxidation and other degradation mechanisms. These changes usually decrease the elongation at break.

This method is primarily suited to samples taken from equipment that are based on thermoplastic or elastomeric polymers. The method is generally not suitable for fibre reinforced polymers or resins such as epoxides.

The method cannot be used in the field in the nuclear power plant but uses samples taken from the plant, which are then measured in the laboratory. Each tensile elongation measurement in the laboratory can take between 5 min and 10 min to complete.

NOTE Round robin tests using a method close to the current standard have shown a typical laboratory variation in results of measurements of elongation at break on identical specimens of 8 % to 10 %.

The mechanical properties of some polymeric materials may be affected by the moisture content. Most organic and polymeric materials currently used in-containment are not significantly hygroscopic. However, if hygroscopic materials are used, the influence of the moisture content of the material on elongation at break may need to be considered, particularly after artificial thermal ageing as a consequence of long term exposure to high temperature in an oven.

5 Measurement procedure

5.1 Stabilisation of the polymeric materials

An appropriate time period shall be allowed for the polymeric materials in recently manufactured equipment to stabilise before any condition monitoring or accelerated ageing programmes are carried out. The time period over which the polymeric materials stabilise is normally dependent on the processing additives and polymer composition. If manufacturers' stabilisation time data are not available, a period of 6 months should be allowed before commencing ageing to allow initial values from unaged samples to become stable.

5.2 Sampling

5.2.1 General

Measurements of tensile elongation provide information on the status of the equipment only at the specific location which has been sampled. Knowledge of the environmental conditions in

representative areas during plant operation is a prerequisite for selecting sample locations for condition monitoring. It is important that these locations represent as wide a range of ageing conditions as possible with special consideration given to locations where ageing conditions could be severe, e.g. hotspots. The location of the sampling and available information about the environmental time history at the sample location selected shall be documented.

Sampling procedures shall comply with local instructions, taking into account safety of personnel and equipment. Handling of equipment during removal of samples from the plant should be minimised e.g. cables should not be bent more than is necessary to remove the sample.

Measurements of elongation at break are formulation dependent and may be sensitive to manufacturing variations, such as porosity. Any changes in formulation need to be evaluated.

5.2.2 Sample requirements

When preparing samples from whole cables that have been aged in the laboratory or in a deposit, samples shall be taken from sections of the cable at least 100 mm from the ends, unless such ends have been sealed during ageing.

In order to obtain reasonable confidence, a minimum of 5 test specimens is required for elongation measurements to be made on one specific sample. However, it is recognised that in some cases e.g. in samples taken from hot-spots, there may be insufficient material available for this minimum to be satisfied.

The specimens may be prepared from equipment taken from the sampling location or, alternatively, be prepared in advance and placed in the sample locations.

Care shall be taken to avoid unsuitable conditions in storage during the time period between sampling and measurements. It is recommended that samples be stored in the dark at temperatures not exceeding 25 °C and at humidity conditions within 45 % and 75 %.

5.3 Specimen preparation

5.3.1 General

When elongation tests are being carried out as part of a condition monitoring programme involving comparative and consecutive measurements, identical specimen preparation method and shape and dimensions of the specimen shall be used.

The type of specimen used for elongation measurements will depend on the geometry of the equipment being sampled. Where possible, dumb-bell specimens shall be used. For some equipment, e.g. the wire insulation in small diameter cables, dumb-bell specimens cannot be prepared and tubular specimens shall be used as specified in 5.3.2. Moulded O-rings may also be used as test specimens, where appropriate.

Dumb-bell or tubular specimens, or moulded O-rings are the most common form of specimens used for condition monitoring. For some equipment alternative specimen geometries may be necessary.

Specimens prepared from equipment before ageing, for example for use in a sacrificial deposit, may be used. Care shall be taken that diffusion-limited oxidation is not an issue when using pre-prepared specimens compared with those prepared after ageing.

NOTE 1 Preparation of test specimens from aged samples can be difficult – see Annex B for suggested approaches for preparing such material.

NOTE 2 Recent studies have shown little significant difference between the oxidation of samples aged as whole cables and those aged as prepared specimens (see Bibliography JNES-SS-0903), for small diameter cables in a limited number of specific materials.

5.3.2 Dumb-bell specimens

Recommendations for the shape and dimensions of dumb-bell specimens are given in Annex A. The test specimens shall be cut from the specimen using a suitable die (see Annex D).

In samples used for condition monitoring, there is usually only a limited amount of material available. For this reason, smaller specimens than are usually used for tensile measurements may be necessary.

5.3.3 Tubular specimens

Tubular specimens are used for equipment such as cable insulation where the core diameter is too small to enable dumb-bell specimens to be cut. Tubular specimens are prepared by removing the conductor from lengths of the insulation material. The overall length of the stripped insulation shall be a minimum of 50 mm.

Care shall be taken to avoid damage to the polymeric insulation when stripping out the conductor. See Annex B for suggested methods of preparing specimens.

With this type of specimen, end tabs or soft inserts are needed to prevent breakage in the grips of the tensile testing machine, as detailed in Annex A.

5.3.4 O-ring specimens

Moulded O-rings may be used as the test specimens. It is essential that the same specimen dimensions are used for both unaged and aged samples for condition monitoring. O-ring samples may be taken from aged equipment.

5.4 Instrumentation

5.4.1 Tensile test machine

The instrument used for tensile elongation measurements shall be capable of measuring the load exerted on the specimen and the separation between the specimen grips during continuous stretching of the specimen at a constant rate. The test machine shall be capable of testing speeds between $10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ and $100 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ with a tolerance of $\pm 10 \%$.

Specimen grips shall be attached to the test machine so that the axis of the specimen coincides with the direction of pull through the centre line of the grip assembly. The test specimen shall be held such that slip relative to the grips is prevented. Pneumatic grips are preferred to mechanical grips. The clamping system shall not cause undue stress on the specimen resulting in potential premature fracture at the grips.

For the testing of O-ring specimens, the test machine shall have two pulleys or rounded pins attached, one to the fixed part and one to the moving cross-head. These pulleys or pins shall be aligned along the direction of pull and shall have a diameter no greater than one third of the O-ring's initial internal diameter and not less than 3 times the cord diameter.

The load indicator shall be capable of showing the tensile load carried by the specimen and indicate the load value with an accuracy of at least 1 % of the actual value.

5.4.2 Calibration

The instrument shall be calibrated according to the manufacturer's recommendations for the load and elongation range appropriate for the specimens being tested.

5.4.3 Use of extensometers

Measurement of the grip separation or crosshead travel from a tensile test machine calibrated to manufacturers' specifications shall provide the specimen elongation during the tensile test.

An extensometer may be used as an alternative method of measuring elongation. If used, it shall be of the non-contacting type. Non-contacting video extensometers are available which can be used to measure specimen elongations to high levels of accuracy if required. If such extensometers are used, a pair of marks shall be made on the surface of the specimen within the straight section of the specimen. The distance between these marks shall be equal to the gauge length for dumb-bell specimens and be 20 mm for tubular specimens.

The same method for measuring elongation of the specimen shall be used for both aged and unaged samples.

5.5 Tensile elongation measurement method

5.5.1 Conditioning

Specimens shall be conditioned at a laboratory temperature of $(25 \pm 5) ^\circ\text{C}$ and a relative humidity of 45 % to 75 % for at least 3 h prior to testing.

5.5.2 Dimensions of test specimens

If tensile strength is to be measured as subsidiary information from the tensile test, then the dimensions of the test specimen shall be determined as follows.

For dumb-bell specimens the width and thickness shall be measured in the gauge length section of the specimen. Dimensions shall be measured to the nearest 0,1 mm using a suitable instrument such as a vernier calliper or dial gauge.

For tubular specimens, the diameter and thickness shall be measured. Optical measurement of the thickness at a number of radial locations around the specimen shall be made. If practical, 6 locations are recommended. Where the thickness is variable, e.g. where insulation overlays a stranded conductor, a best estimate shall be made of the cross-sectional area.

For O-ring specimens, the internal diameter and radial thickness shall be measured. The internal diameter shall be measured using a calibrated cone gauge or other suitable measuring equipment.

5.5.3 Clamping

For dumb-bell and tubular test specimens, the specimen shall be placed in the test grips, ensuring that the longitudinal axis of the specimen is aligned with the axis of the testing machine. The grips shall be tightened evenly and firmly to avoid slippage of the test specimen. Grip separation shall be such that only the wide sections of dumb-bell specimens are in contact with the grips. For tubular specimens, the grip separation shall be 30 mm.

For O-ring samples, the specimen shall be placed over the pulleys or pins attached to the fixed and moving cross-head of the test machine, ensuring that the specimen is not twisted.

5.5.4 Testing speed

The recommended testing speeds are shown in Table 1. The same test speed shall be used for all tests on the same material.

Table 1 – Testing speeds for elongation measurements

Specimen type	Testing speed ($\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$)
Dumb-bell specimens – types 1, 1A and 2	20
Dumb-bell specimens – type 3	10
Tubular specimens	50
O-ring specimens	50

The types refer to Annex A, Table A.1.

These testing speeds are much slower than normally used for tensile testing of polymeric specimens for QA purposes but are recommended because slower test speeds tend to give more reproducible results. Also, the measurements may not necessarily be directly comparable with tests made at higher speeds. For this reason elongation at break values derived from tests performed with higher speeds may not be appropriate as reference values for ageing monitoring. In condition monitoring tests, the amount of material available for testing is very limited and there is often no scope for the preparation of additional specimens.

5.5.5 Recording data

The load exerted on the specimen and the corresponding distance between the grips shall be recorded during the test, preferably using an automated recording system which can display the load-elongation curve during the test. The test shall be continued until the specimen breaks.

Examples of typical load-elongation curves are shown in Annex C.

5.5.6 Calculation of results

For dumb-bell and tubular specimens, the elongation at break is calculated from

$$\varepsilon(\%) = 100 \times \frac{E_b - E_0}{E_0} \quad (1)$$

Where ε is the elongation at break (expressed as a percentage), E_0 is the initial distance between the specimen grips and E_b is the distance between grips at break.

If a non-contacting extensometer has been used during the test, the parameters E_0 and E_b represent the initial distance between the marks on the specimen and the distance between the marks at break, respectively.

For O-ring specimens, the elongation at break is given by

$$\varepsilon(\%) = 100 \times \frac{\pi d + 2L_b - C}{C} \quad (2)$$

where L_b is the distance between the pulley centres at break, C is the initial internal circumference of the ring and d is the diameter of the pulleys.

NOTE 1 The calculation of elongation assumes negligible friction between the test rig pulleys or pins and the O-ring material.

The arithmetic mean and standard deviation of the test results shall be calculated. Data from any specimens which broke in the grips or slipped from the grips shall not be included in the calculation of the mean. Any such data shall be reported separately.

NOTE 2 The tensile strength of the test specimens can also be extracted from the test as subsidiary data. The tensile strength is calculated on the basis of the cross-sectional area of the specimen in the gauge length:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3)$$

where σ is the tensile strength, expressed in MPa; F is the measured load at break, measured in Newton; A is the initial cross-sectional area of the specimen, expressed in mm². The cross-sectional area for tubular specimens is given by

$$A = \pi \times (D - \delta) \times \delta \quad (4)$$

where D is the mean value of the outer diameter and δ is the mean value of the thickness (see clause 5.5.2).

5.6 Measurement report

The measurement report shall include the following items.

- a) Identification of the equipment sampled. This shall include
 - details of the material being sampled e.g. the generic polymer type, specific formulation numbers,
 - where the sample was taken from,
 - for samples taken in plant, location within the plant.
- b) Pre-history of the equipment sampled. This shall include
 - time in service, or ageing time for laboratory aged samples,
 - the environmental conditions to which it has been exposed, e.g. temperature, radiation,
 - stabilisation time for unaged samples.
- c) Place and date of the measurements.
- d) Number of specimens measured (5.2.2).
- e) Details of specimen preparation (5.3 and Annex B).
- f) Specimen type – dumb-bell/tube/ring and type of end tab/insert used, dimensions of specimen; indicate whether specimens prepared before or after ageing (5.3 and 5.5.2).
- g) Instrument used and software version used for analysis (5.4.1).
- h) Calibration procedure (5.4.2).
- i) Extensometer type used, if any (5.4.3).
- j) Type of grips used to clamp specimens or pulley diameter for O-ring specimens (5.5.3).
- k) Test speed used (5.5.4).
- l) Whether elongation calculated from gauge length, using an extensometer, or nominal elongation (5.5.6).
- m) Individual elongation values (in %), mean values, and standard deviation; indicate in a comments column any values excluded from calculation of the mean because of failure in the grips or slippage. If strength values (in MPa) have also been calculated, these should be included as subsidiary data.
- n) Examples of typical load versus elongation plots. Any atypical plots shall also be included.

Annex A
(informative)

Shape and dimensions of test specimens

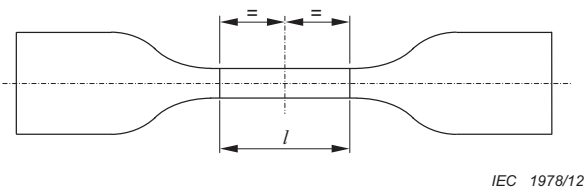
A.1 Preparation of dumb-bell specimens

The recommended shape for dumb-bell test specimens is shown in Figure A.1 with dimensions as specified in Table A.1.

Dumb-bell specimens may be used with dimensions different from those given in Table A.1, e.g. conforming to National Standards. However, it is important for reproducibility that the same dimensions are used for both baseline measurements and samples taken from aged material.

The test specimens shall be cut from the equipment sample (e.g. a section of cable) using a suitable die, such as described in Annex D.

Specimens should not be prepared from slab samples, since these are not necessarily representative of the material. Slab samples are usually considerably thicker than the material used in equipment such as cables. This may raise issues of diffusion-limited oxidation and differences in orientation of the molecular structure if slab samples are used.



Key

l is the gauge length

Figure A.1 – Shape of dumb-bell specimens

Table A.1 – Recommended dimensions for dumb-bell specimens

Dimension mm	Type 1	Type 1A	Type 2	Type 3
Overall length – minimum	115	100	75	50
Width of ends	25 ± 1	25 ± 1	12,5 ± 1	8,5 ± 0,5
Length of narrow portion	33 ± 2	22 ± 1	25 ± 1	16 ± 1
Width of narrow portion	6 ± 0,2	5 ± 0,1	4 ± 0,1	4 ± 0,1
Gauge length	25 ± 1	20 ± 0,5	20 ± 0,5	10 ± 0,5
NOTE Type 1 is equivalent to ASTM D-412-C.				

A.2 Tubular specimens

Tubular specimens are used for equipment such as cable insulation where the core diameter is too small to enable dumb-bell specimens to be cut. Tubular specimens are prepared by

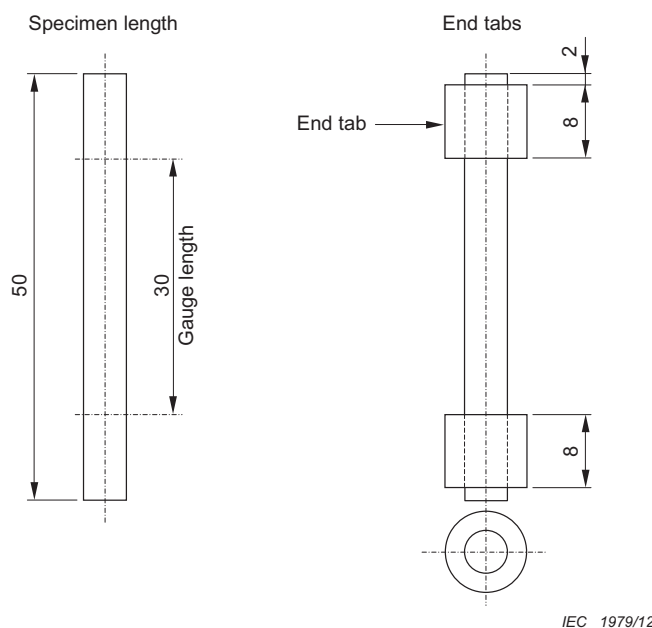
removing the conductor from lengths of the insulation material. The overall length of the stripped insulation shall be a minimum of 50 mm.

Care shall be taken to avoid damage to the polymeric insulation when stripping out the conductor. See Annex B for suggested methods of preparing specimens.

With this type of specimen, end tabs or soft inserts are needed to prevent breakage in the grips of the tensile testing machine. For tubular specimens with outside diameters of < 4 mm, end tabs shall be fitted as in Figure A.2. For larger diameter tubular specimens, soft inserts shall be used as in Figure A.3.

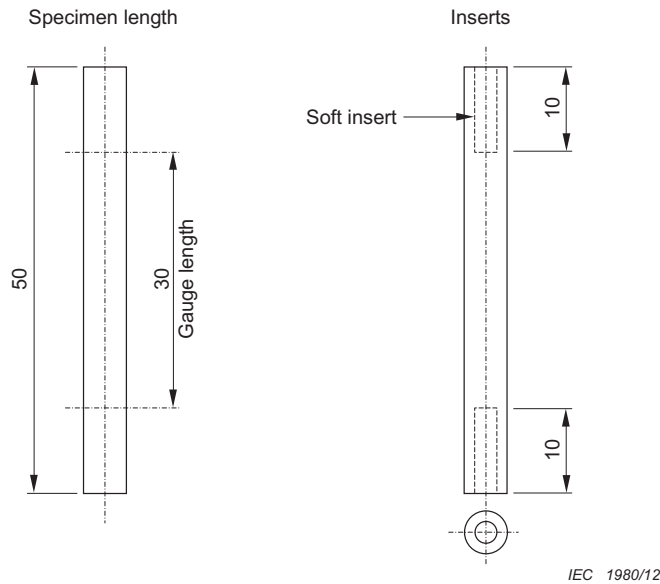
The end tabs and/or inserts need to be of polymeric material of similar modulus to the material being tested. The combination of end tabs and/or inserts are used to avoid excessive stress in the specimen at the clamping position. This emulates the use of dumb-bell specimens, where stress is concentrated in the gauge length during the test.

To prepare tubular specimens for testing, cut the specimen to a length of 50 mm. For tubular specimens < 4 mm in diameter, cut two end tabs 8 mm in length and slide them over the ends of the specimen, leaving 2 mm of the specimen protruding above the end tab. For larger diameter tubular specimens, cut two inserts 10 mm in length and insert into the ends of the tubular specimen. Place the specimen in the test machine and tighten the grips leaving a central gauge length of 30 mm.



Dimensions in millimetres

Figure A.2 – Fitting end tabs to tubular specimens

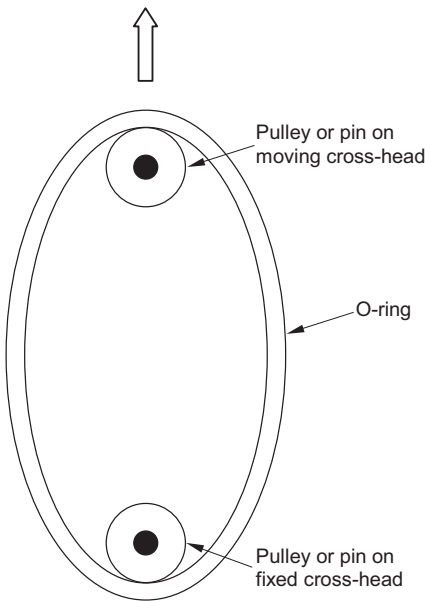


Dimensions in millimetres

Figure A.3 – Fitting soft inserts to tubular specimens

A.3 O-ring specimens

O-rings shall be tested as complete rings, mounted in the test machine as shown in Figure A.4. If the O-ring internal diameter is too small to use the pulley fittings for mounting, the O-ring may be cut and the ends gripped using standard grips.



IEC 1981/12

Figure A.4 – Mounting of O-ring specimens in the test machine

Annex B (informative)

Preparation of test specimens from cable samples

B.1 General

The preparation of suitable specimens for elongation at break determination may be difficult and the level of difficulty is usually dependant on a combination of the cable construction and the level of ageing in the cable. For cables which have been aged in reactor environments (cable sections removed during repairs at outages or where a sacrificial deposit methodology has been adopted), cable lengths are likely to be short and the amounts of material available for testing limited. It is therefore important to be able to produce specimens for testing in an efficient manner.

B.2 Preparation of specimens from large diameter cables

For cable constructions with large diameter conductors e.g. power cables, it is usually sufficient to strip the cable down by first removing the jacket with a sharp knife and systematically remove any armour or bedding components to reveal the conductors from which the insulation can also be removed using the knife. Dumb-bell tensile test specimens can then be cut from the cable materials using a die as required in 5.3.2. In many cases, specimens will be cut from sections of material which are tubular and require flattening before cutting with the die. For an aged cable material, it may be appropriate to cut the materials into small sections to avoid excessive stresses that may occur during flattening of tubular sections.

In many cases, the samples from which the specimens are to be cut are of uneven thickness. The sample can be trimmed to a uniform thickness using a cutting machine such as that shown in IEC 60811-1-1 (see the Bibliography of this standard), which uses a pair of rollers to feed the sample against a highly sharpened blade. Alternatively a power driven buffing machine may be used to remove surface irregularities. Such a machine should have a peripheral speed of $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ to $25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ and utilise a light pressure and slow feed so that very little material is removed at one cut.

If specimens are prepared from split or buffed material, the specimens should be allowed to relax at standard laboratory temperature for at least 24 h before testing.

B.3 Preparation of specimens from small diameter cables

In cable constructions that use small diameter conductors e.g. most instrumentation and control cables, it is unlikely that specimens will be able to be cut using a standard die and tubular specimens should be prepared. In this case it is suggested that, when the cable has been stripped down, the conductors are cut to lengths of about 70 mm and approximately 10 mm of the insulation is removed to expose the conductor strands.

To remove the conductor from the insulation material, one of the following methods should be used. It is important to minimise the stresses exerted on the polymeric material during sample preparation. Accordingly, methods a) and b) shown below are the preferred techniques. Methods c), d) and e) should only be used if the other methods are unsuccessful.

- a) One of the centre strands of the conductor is identified and removed by gently pulling with pliers with one hand whilst holding the insulation with another. When one strand has been removed, it may be possible to remove the remainder in a similar manner. In the case of aged cables, care shall be exercised when removing the final strands as the

metal conductor may have bonded to the insulation and the process needs to be carried out slowly to avoid damage to the insulation sample. When the process is complete, the specimen size shall then be trimmed to 50 mm in length, see 5.3.3.

- b) In the case of cores with single conductors, it is considered more appropriate to use spring loaded cable strippers and start at one end of the insulation sample then carefully remove the insulation using repeated slow movements of the cable stripper.
- c) The removal of insulation on wires with solid conductors may also be facilitated by gently stretching the conductor. The minimum elongation necessary to loosen the insulation from the conductor should be used.
- d) Another practice used to remove cable insulations from conductors is to roll the core by hand on a smooth surface to loosen the conductors and then remove them. Whilst this method will allow the insulation samples to be removed, it is likely that the process of rolling will impart stress onto the insulation which may affect the results of the tensile test. When cables are aged, the rolling process might even introduce defects which will result in low value of elongation at break.
- e) Where the insulations have bonded to the conductors and removal is difficult, the application of heat to gently warm up the samples before using a cable stripper has been successfully used. This should only be used when all other methods have failed. The application of heat should be for as short a period as possible and the temperature should not exceed 50 °C. Under no circumstance shall excessive heat be applied to free the insulation. In addition the use of solvents to soften the insulation must not be used because solvent can swell, and plasticise the insulation material. In addition, the presence of solvents can cause premature failure during tensile testing due to environmental stress corrosion.

All tubular specimens should be allowed to relax at standard laboratory temperature for at least 24 h after preparation before testing is carried out.

B.4 Preparation of test specimens from bonded material

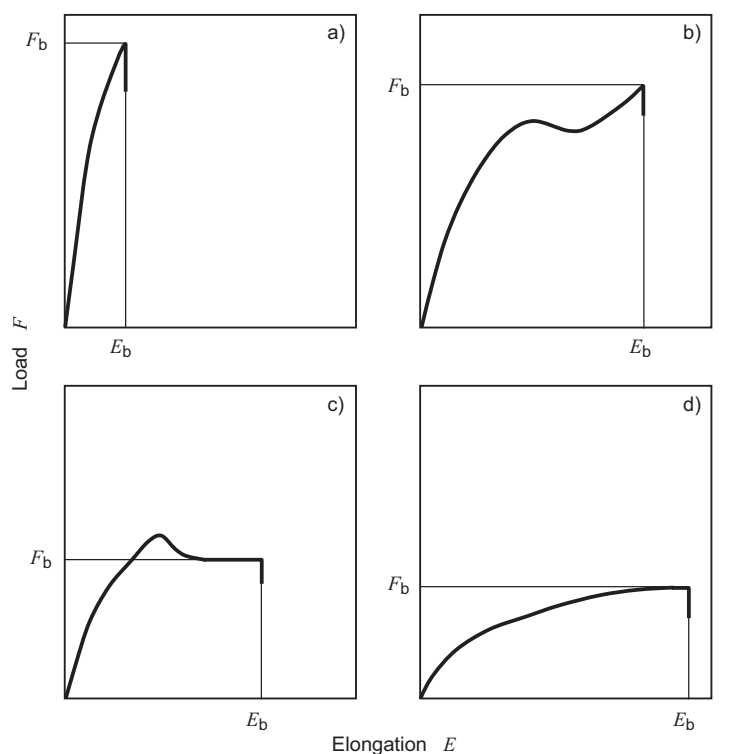
Some cable manufacturers use bonded materials in the construction of their cables, e.g. EPR (ethylene propylene rubber) insulation bonded to a CSPE (chlorosulphonated polyethylene) layer. Where this bonded material is large enough for dumb-bell specimens to be prepared, the material can be split or buffed (as in Clause B.2) to remove one of the layers. In this way, the two components of the bonded layer can be tested separately.

For smaller cables, where tubular specimens have to be prepared, it is not generally possible to separate the bonded layers. In this case the elongation measurements are made on both layers. This can introduce additional variability into the test results, since the two materials may have different elongation values or have degraded at different rates. Where one layer breaks at a lower elongation than the other, this should be noted in the comments section of the report.

Annex C (informative)

Typical load versus elongation curves

Typical load-elongation curves are shown in Figure C.1. The examples shown are for materials that are brittle – curve (a); tough, with a yield point – curves (b) and (c); tough, without a yield point – curve (d). For each of these types of curve, the values of elongation E_b and load F_b at break, that are used in calculating elongation at break and tensile strength, are indicated.



IEC 1982/12

Figure C.1 – Typical load-elongation curves

If the specimen slips in the grips during a tensile test, this will show up clearly in a load vs. time plot, as shown in Figure C.2. If this occurs, the elongation value should be reported separately but not included in the calculation of the mean value.

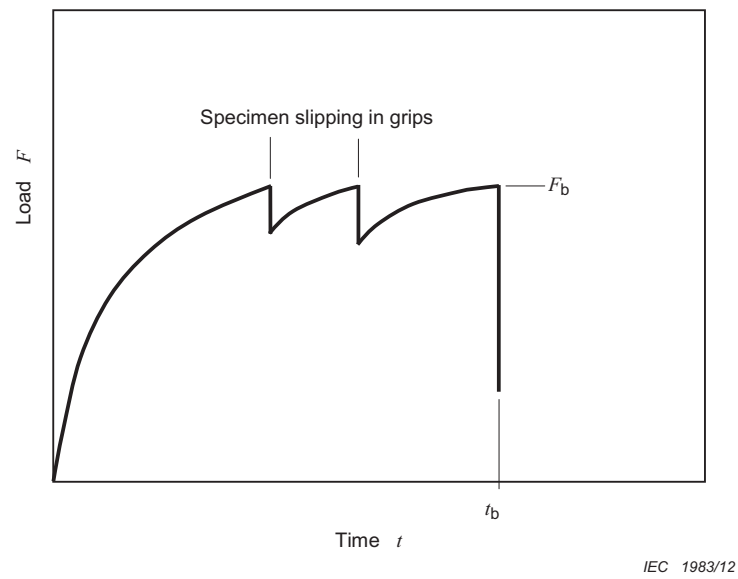


Figure C.2 – Typical load-time curve with a slipping specimen

Annex D (normative)

Dies for cutting dumb-bell specimens

Cutters used for the preparation of dumb-bell specimens shall have the form shown in Figure D.1, with dimensions corresponding to those given in Table A.1 of Annex A.

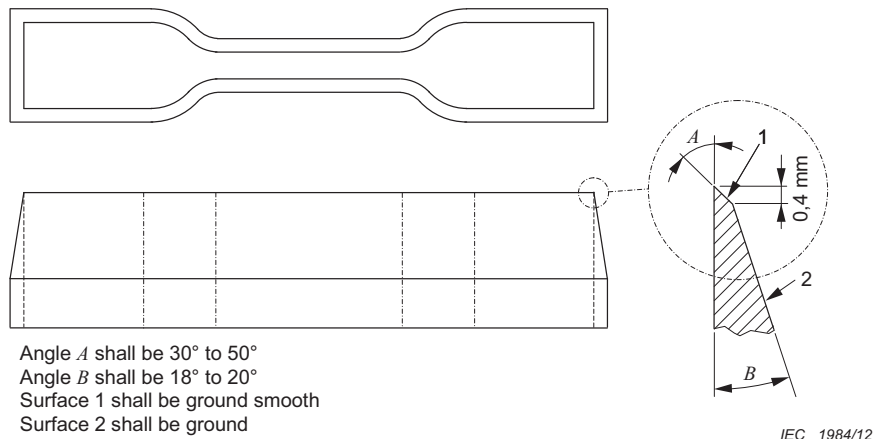


Figure D.1 – Suitable cutters for dumb-bell specimens

Annex E

(informative)

Example of a measurement report from tensile elongation measurements

This example is from the round-robin test programme carried out as part of an IAEA coordinated research programme on cable ageing.

Sample ID	1129 cable insulation, taken from 4-core AIW cable, D14		
Material	Bonded EPR + CSPE insulation, 1 mm thickness – green		
Pre-history	Unaged material Stabilisation time > 6 months Conditioning time prior to testing > 24 h		
Place and date of measurement	13 May 1998 Ontario Hydro		
Specimen type	Tube, with end tab Specimens prepared before ageing		
Gauge or test length	30 mm		
Instrument	Instron		
Calibration method	Dead weight See calibration report No xxxx		
Type of grips	Pneumatic		
Extensometer	None		
Testing speed	50 mm·min ⁻¹		
No. of specimens measured	5		
Elongation and strength values		Elongation at break (%)	Strength (MPa)
	Specimen 1 –	312,2	
	Specimen 2 –	326,8	
	Specimen 3 –	309,4	
	Specimen 4 –	329,6	
	Specimen 5 –	351,1	
	Mean value	325,8	
	Standard deviation	16,6	

Comments:

Bibliography

IEC 60544-5, *Electrical insulating materials – Determination of the effects of ionising radiation – Part 5: Procedures for assessment of ageing in service*

IEC 60780, *Nuclear power plants – Electrical equipment of the safety system – Qualification*

IEC 60811-1-1, *Common test methods for insulating and sheathing materials of electric cables and optical cables – Part 1-1: Methods for general application – Measurement of thickness and overall dimensions – Tests for determining the mechanical properties*

IEC 62582-1, *Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – Electrical equipment condition monitoring methods – Part 1: General*

ISO 37:2011, *Rubber, vulcanized or thermoplastic – Determination of tensile stress-strain properties*

ISO 527-1:2012, *Plastics – Determination of tensile properties – Part 1: General principles*

ASTM D638, *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*

ASTM D1414 – 94(2008), *Standard Test Methods for Rubber O-Rings*

IAEA-TECDOC-1188:2000, *Assessment and management of ageing of major nuclear power plant components important to safety: In-containment instrumentation and control cables*, IAEA, Vienna

IEEE Std 323, *IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations*

JNES-SS-0903, 2009, *The final report of the project “Assessment of cable ageing for nuclear power plant”*, T Yamamoto & T Minakawa, Japan Nuclear Energy Safety Organisation, Nuclear Energy System Safety Division

NUREG/CR-6704, Vol. 2 (BNL-NUREG-52610), *Assessment of Environmental Qualification Practices and Condition Monitoring Techniques for Low-Voltage Electric Cables, Condition Monitoring Test Results*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	28
INTRODUCTION	30
1 Domaine et objet	32
2 Termes and définitions	32
3 Description générale	33
4 Caractéristiques relatives à l'application et à la reproduction	33
5 Procédure de mesure	33
5.1 Stabilisation des matériaux polymériques	33
5.2 Echantillonnage	34
5.2.1 Considérations générales	34
5.2.2 Exigences portant sur l'échantillon	34
5.3 Préparation des éprouvettes	34
5.3.1 Considérations générales	34
5.3.2 Eprouvettes de type haltère	35
5.3.3 Eprouvettes tubulaires	35
5.3.4 Eprouvettes toriques	35
5.4 Instrumentation	35
5.4.1 Machine d'essai de traction	35
5.4.2 Etalonnage	36
5.4.3 Utilisation de l'extensomètre	36
5.5 Méthode de mesure de l'allongement par traction	36
5.5.1 Mise en condition	36
5.5.2 Dimensions des éprouvettes d'essai	36
5.5.3 Serrage	37
5.5.4 Vitesse d'essai	37
5.5.5 Enregistrement des données	37
5.5.6 Calcul des résultats	38
5.6 Rapport d'essai	38
Annexe A (informative) Forme et dimensions des éprouvettes d'essai	40
Annexe B (informative) Préparation des éprouvettes d'essai à partir des échantillons de câble	43
Annexe C (informative) Exemples classiques de courbes représentant la force par rapport à l'allongement	45
Annexe D (normative) Emporte pièce pour découper les éprouvettes de type haltère	47
Annexe E (informative) Exemple de rapport de mesure pour les mesures d'allongement à la traction	48
Bibliographie	49
Figure A.1 – Forme des éprouvettes de type haltère	40
Figure A.2 – Mise en place des manchettes sur une éprouvette tubulaire	41
Figure A.3 – Mise en place des inserts souples sur une éprouvette tubulaire	42
Figure A.4 – Montage d'une éprouvette torique sur la machine d'essai	42
Figure C.1 – Exemples classiques de courbes représentant la force en fonction de l'allongement	45

Figure C.2 – Exemples classiques de courbes représentant la force en fonction du temps avec l'éprouvette glissant dans les mors de serrage	46
Figure D.1 – Emporte pièce adapté à la coupe des éprouvettes de type haltère	47
Tableau 1 – Vitesses d'essai pour les mesures d'allongement	37
Tableau A.1 – Dimensions recommandées pour les éprouvettes de type haltère	40

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CENTRALES NUCLÉAIRES DE PUISSANCE – INSTRUMENTATION ET CONTRÔLE-COMMANDE IMPORTANTES POUR LA SÛRETÉ – MÉTHODES DE SURVEILLANCE DE L'ÉTAT DES MATÉRIELS ÉLECTRIQUES –

Partie 3: Allongement à la rupture

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.

Les normes de l'IEEE sont élaborées par les Sociétés de l'IEEE, ainsi que par les Comités de coordination des normes du Conseil de normalisation de l'IEEE Standards Association (IEEE-SA). Ces normes sont l'aboutissement d'un consensus, qui rassemble des bénévoles représentant divers points de vue et intérêts. Les participants bénévoles ne sont pas nécessairement membres de l'IEEE et leur intervention n'est pas rétribuée. Si l'IEEE administre le déroulement de cette procédure et définit les règles destinées à favoriser l'équité du consensus, l'IEEE lui-même n'évalue pas, ne teste pas et ne vérifie pas l'exactitude de toute information contenue dans ses normes. L'utilisation de normes de l'IEEE est entièrement volontaire. Les documents de l'IEEE sont disponibles à des fins d'utilisation, à condition d'être assortis d'avis importants et de clauses de non-responsabilité (voir <http://standards.ieee.org/IPR/disclaimers.html> pour de plus amples informations).

La CEI travaille en étroite collaboration avec l'IEEE, selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.

- 2) Les décisions officielles 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. Une fois le consensus établi entre les Sociétés de l'IEEE et les Comités de coordination des normes, les décisions officielles de l'IEEE relatives aux questions techniques sont déterminées en fonction du vote exprimé par un groupe à la composition équilibrée, composé de parties intéressées qui manifestent leur intérêt pour la révision des normes proposées. L'approbation finale de la norme de l'IEEE est soumise au Conseil de normalisation de l'IEEE Standards Association (IEEE-SA).
- 3) Les Publications CEI/IEEE se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI/Sociétés de l'IEEE. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin de s'assurer de l'exactitude du contenu technique des Publications CEI/IEEE; la CEI ou l'IEEE ne peuvent pas être tenus responsables 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 (y compris les Publications CEI/IEEE) dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications CEI/IEEE et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI et l'IEEE eux-mêmes ne fournissent aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de la CEI. La CEI et l'IEEE ne sont responsables d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 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 ou à l'IEEE, 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, ou les bénévoles des Sociétés de l'IEEE et des Comités de coordination des normes du Conseil de normalisation de l'IEEE Standards Association (IEEE-SA), 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 CEI/IEEE ou toute autre publication de la CEI ou de l'IEEE, 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 fait que la mise en application de cette Publication CEI/IEEE peut requérir l'utilisation de matériels protégés par des droits de brevet. En publiant cette norme, aucun parti n'est pris concernant l'existence ou la validité de droits de brevet y afférents. Ni la CEI ni l'IEEE ne peuvent être tenus d'identifier les revendications de brevet essentielles pour lesquelles une autorisation peut s'avérer nécessaire, d'effectuer des recherches sur la validité juridique ou l'étendue des revendications des brevets, ou de déterminer le caractère raisonnable ou non discriminatoire des termes ou conditions d'autorisation énoncés dans le cadre d'un Certificat d'assurance, lorsque la demande d'un tel certificat a été formulée, ou contenus dans tout accord d'autorisation. Les utilisateurs de cette norme sont expressément informés du fait que la détermination de la validité de tous droits de propriété industrielle, ainsi que les risques qu'impliquent la violation de ces droits, relèvent entièrement de leur seule responsabilité.

La Norme internationale CEI/IEEE 62582-3 a été établie par le sous-comité 45A: Instrumentation et contrôle-commande des installations nucléaires, du comité d'études 45 de la CEI: Instrumentation nucléaire, en coopération avec le «Nuclear Power Engineering Committee» de la «Power & Energy Society» de l'IEEE¹, selon l'accord double logo CEI/IEEE.

La présente publication est une norme double logo CEI/IEEE.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants de la CEI:

FDIS	Rapport de vote
45A/887/FDIS	45A/891/RVD

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

Les normes internationales sont rédigées selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série CEI/IEEE 62582, présentées sous le titre général *Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation et contrôle-commande importants pour la sûreté – Méthodes de surveillance de l'état des matériels électriques*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

Le comité d'études de la CEI et le comité d'études de l'IEEE ont décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité 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.

¹ Une liste des participants IEEE est disponible à l'adresse suivante: http://standards.ieee.org/downloads/62582-3/62582-3-2012/62582-3-2012_wg-participants.pdf.

INTRODUCTION

a) Contexte technique, questions importantes et structure de la présente norme

La présente partie de cette norme CEI/IEEE s'intéresse plus particulièrement aux méthodes de rupture à l'allongement utilisées dans le cadre de surveillance d'état pour la gestion du vieillissement des matériels électriques installés dans les centrales nucléaires. La méthode est principalement adaptée aux échantillons prélevés sur les équipements réalisés à partir de polymères thermoplastiques ou d'élastomères.

Cette partie est la troisième de la série CEI/IEEE 62582. Elle contient une description détaillée de la surveillance d'état basée sur les mesures faites par rupture à l'allongement.

La série CEI/IEEE 62582 est publiée en double logo ce qui la rend applicable pour la gestion du vieillissement des matériels électriques qualifiés tant dans le cadre des normes IEEE que dans celui des normes CEI.

Historiquement, la norme IEEE 323-2003 a introduit le concept et le rôle complémentaire que pouvait jouer la qualification reposant sur l'état du matériel dans le cadre de la qualification des matériels au niveau de la durée de vie certifiée. Dans le cadre de la qualification du matériel, l'état du matériel pour lequel des performances acceptables ont été prouvées correspond à l'état qualifié. L'état qualifié est l'état de l'équipement prévalant au début d'un événement de dimensionnement, pour lequel il a été démontré que le matériel satisfaisait aux exigences de conception pour les conditions de service spécifiées.

Des recherches importantes ont été réalisées sur les techniques de surveillance de l'état des matériels et l'utilisation de ces techniques dans le cadre de la qualification des matériels, comme indiqué dans les documents NUREG/CR-6704, Vol. 2 (BNL-NUREG-52610) et JNES-SS-0903, 2009.

L'objectif de la présente norme CEI/IEEE est d'être utilisée par les laboratoires d'essai, les exploitants de centrales nucléaires, les évaluateurs de système et par les régulateurs.

b) Position de la présente norme dans la collection de normes du SC 45A de la CEI

La partie 3 de la série CEI/IEEE 62582 est le document du SC 45A de la CEI de troisième niveau qui traite du problème particulier de l'application et des performances des mesures faites d'allongement à la rupture dans le cadre de la gestion du vieillissement des matériels électriques d'I&C utilisés dans les centrales nucléaires de puissance.

La partie 3 de la série CEI/IEEE 62582 doit être lue avec la partie 1 de la série CEI/IEEE 62582, qui fournit les éléments de contexte et des recommandations pour l'application des méthodes de surveillance d'état des matériels électriques importants pour la sûreté utilisés dans les centrales nucléaires de puissance.

Pour plus de détails sur la collection de normes du SC 45A de la CEI, voir le point d) de cette introduction.

c) Recommandations et limites relatives à l'application de la présente norme

Il est important de noter que la présente norme n'établit pas d'exigence fonctionnelle supplémentaire pour les systèmes de sûreté.

d) Description de la structure de la collection des normes du SC 45A de la CEI et relations avec d'autres documents de la CEI, et d'autres organisations (AIEA, ISO)

Le document de niveau supérieur de la collection de normes produites par le SC 45A de la CEI est la norme CEI 61513. Cette norme traite des exigences relatives aux systèmes et équipements d'instrumentation et de contrôle-commande (systèmes d'I&C) utilisés pour accomplir les fonctions importantes pour la sûreté des centrales nucléaires, et structure la collection de normes du SC 45A de la CEI.

La CEI 61513 fait directement référence aux autres normes du SC 45A de la CEI traitant de sujets génériques, tels que la catégorisation des fonctions et le classement des systèmes, la qualification, la séparation des systèmes, les défaillances de cause commune, les aspects logiciels et les aspects matériels relatifs aux systèmes programmés, et la conception des salles de commande. Il convient de considérer que ces normes, de second niveau, forment, avec la norme CEI 61513, un ensemble documentaire cohérent.

Au troisième niveau, les normes du SC 45A de la CEI, qui ne sont généralement pas référencées directement par la norme CEI 61513, sont relatives à des matériels particuliers, à des méthodes ou à des activités spécifiques. Généralement ces documents, qui font référence aux documents de deuxième niveau pour les activités génériques, peuvent être utilisés de façon isolée.

Un quatrième niveau qui est une extension de la collection de normes du SC 45A de la CEI correspond aux rapports techniques qui ne sont pas des documents normatifs.

La CEI 61513 a adopté une présentation similaire à celle de la CEI 61508, avec un cycle de vie de sûreté d'ensemble et un cycle de vie de sûreté des systèmes. Au niveau sûreté nucléaire, elle est l'interprétation des exigences générales des parties 1, 2 et 4 de la CEI 61508 pour le secteur nucléaire, pour ce qui concerne le domaine de la sûreté nucléaire. Dans ce domaine, la CEI 60880 et la CEI 62138 correspondent à la partie 3 de la CEI 61508 pour le secteur nucléaire. La CEI 61513 fait référence aux normes ISO ainsi qu'aux documents AIEA GS-R-3 et AIEA GS-G-3.1 pour ce qui concerne l'assurance qualité.

Les normes produites par le SC 45A de la CEI sont élaborées de façon à être en accord avec les principes de sûreté fondamentaux du Code AIEA sur la sûreté des centrales nucléaires, ainsi qu'avec les guides de sûreté de l'AIEA, en particulier avec le document d'exigences NS-R-1 qui établit les exigences de sûreté relatives à la conception des centrales nucléaires et avec le guide de sûreté NS-G-1.3 qui traite de l'instrumentation et du contrôle commande importants pour la sûreté des centrales nucléaires. La terminologie et les définitions utilisées dans les normes produites par le SC 45A sont conformes à celles utilisées par l'AIEA.

NOTE Il est fait l'hypothèse que pour la conception des systèmes d'I&C qui sont supports de fonctions de sûreté conventionnelle (par exemple pour garantir la sécurité des travailleurs, la protection des biens, la prévention contre les risques chimiques, la prévention contre les risques liés au procédé énergétique) on applique des normes nationales ou internationales, dont les exigences sont comparables à des normes telle que la CEI 61508.

CENTRALES NUCLÉAIRES DE PUISSANCE – INSTRUMENTATION ET CONTRÔLE-COMMANDE IMPORTANTS POUR LA SÛRETÉ – MÉTHODES DE SURVEILLANCE DE L'ÉTAT DES MATÉRIELS ÉLECTRIQUES –

Partie 3: Allongement à la rupture

1 Domaine et objet

La présente partie de la CEI/IEEE 62582 présente des méthodes de surveillance d'état de matériaux organiques et de polymères des systèmes d'instrumentation et de contrôle-commande en utilisant des techniques d'allongement par traction, de façon suffisamment détaillée pour obtenir des mesures reproductibles et précises. Elle comprend des exigences concernant la sélection d'échantillons, les systèmes de mesure et les conditions de mesure, ainsi que les rapports des résultats de mesure.

Les différentes parties de la CEI/IEEE 62582 sont des normes de mesure, principalement destinées à être utilisées pour la gestion du vieillissement dans le cadre de la qualification initiale et après installation. La partie 1 de la CEI/IEEE 62582 fournit des exigences applicables pour toutes les autres parties de la CEI/IEEE 62582 et certains éléments communs à toutes les méthodes. L'IEEE 323 fournit des informations concernant le rôle de la surveillance de l'état dans la qualification des équipements importants pour la sûreté.

Cette norme est applicable aux équipements qui ne sont pas sous tension.

2 Termes and définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

2.1

allongement

déformation en traction résultant d'une contrainte de traction exercée sur l'éprouvette, exprimée en pourcentage de la longueur d'essai

[SOURCE: ISO 37:2011]

2.2

allongement à la rupture

allongement de la longueur d'essai au moment de la rupture

[SOURCE: ISO 37:2011]

2.3

allongement à la rupture nominal

allongement exprimé comme un pourcentage de la longueur de l'éprouvette entre les mors de serrage, produit au moment de la rupture

2.4

longueur de référence

distance initiale entre les repères sur la partie centrale de l'éprouvette. Elle est exprimée en millimètres (mm)

Note 1 à l'article: Voir figure des éprouvettes dans la partie concernée de l'ISO 527.

[SOURCE: ISO 527-1:2012]

2.5

vitesse d'essai

vitesse de séparation des mors de la machine d'essai pendant l'essai. Elle est exprimée en millimètres par minute (mm/min)

[SOURCE: ISO 527-1:2012]

3 Description générale

Une éprouvette d'essai est étirée suivant son axe longitudinal à une vitesse constante jusqu'à la rupture de l'éprouvette. Durant l'essai, la traction appliquée à l'éprouvette et son allongement sont mesurés. Dans la présente norme, l'allongement à la rupture est le paramètre mesuré.

NOTE L'allongement à la rupture est utilisé plutôt que la résistance à la traction car pour certains polymères, en particulier pour les thermoplastiques, la résistance peut rester constante et égale à résistance observée au seuil visco-élastique après vieillissement même si l'allongement est réduit de moins de 50 % en valeur absolue.

4 Caractéristiques relatives à l'application et à la reproduction

La méthode repose sur la présence des longues chaînes des structures moléculaires des polymères. En fonction du processus de dégradation, des changements, résultant des procédés de réticulation, des mécanismes de rupture des chaînes, d'oxydation ou d'autres mécanismes, surviennent au niveau des structures moléculaires. Ces changements se traduisent généralement par la diminution de la valeur de l'allongement à la rupture.

La méthode est d'abord adaptée à des échantillons prélevés sur des équipements réalisés principalement à partir de polymères thermoplastiques ou d'élastomères. Celle-ci n'est généralement pas adaptée pour les polymères renforcés à l'aide de fibres ou pour les résines telles que les résines époxy.

La méthode ne peut être utilisée sur le terrain dans les centrales nucléaires de puissance, mais elle utilise des échantillons provenant des centrales, qui font l'objet de mesure en laboratoire. La réalisation de chaque mesure d'allongement en traction peut prendre de 5 min à 10 min en laboratoire.

NOTE Des essais réalisés en différents endroits, utilisant des méthodes proches de celle présentée dans la présente norme, ont permis d'observer au niveau des résultats de mesures de l'allongement à la rupture d'éprouvettes identiques, un écart associé aux essais en laboratoire classique, variant de 8 % à 10 %.

Les propriétés mécaniques de certains matériaux polymères peuvent être sensibles au taux d'humidité contenue. La plupart des matériaux polymériques ou organiques utilisés dans l'enceinte ne sont pas significativement hygroscopiques. Néanmoins si des matériaux hygroscopiques sont utilisés, l'influence du taux d'humidité contenue dans les matériaux sur l'allongement à la rupture peut devoir être pris en compte, en particulier après un vieillissement thermique artificiel obtenu par une exposition long terme à une température élevée dans un four.

5 Procédure de mesure

5.1 Stabilisation des matériaux polymériques

Un laps de temps approprié doit être prévu pour que les matériaux polymères des équipements récemment fabriqués se stabilisent avant que tout programme de surveillance de l'état ou de vieillissement accéléré de ces équipements ne débute. La période de temps nécessaire pour que les matériaux polymères se stabilisent est normalement dépendante des produits additifs liés au procédé et de la composition des polymères. Si les données fabricant

concernant le temps de stabilisation des polymères ne sont pas disponibles, alors il convient d'attendre une période de 6 mois avant de commencer les programmes de vieillissement pour permettre aux valeurs relatives aux échantillons non vieillis de se stabiliser.

5.2 Echantillonnage

5.2.1 Considérations générales

La mesure de l'allongement en traction fournit des éléments d'information sur l'état de l'équipement situé uniquement à l'endroit où le prélèvement a été réalisé. La connaissance des conditions environnementales dans des lieux représentatifs durant l'exploitation est un pré-requis pour pouvoir choisir les lieux de prélèvement pour réaliser la surveillance d'état. Il est important que ces endroits correspondent autant que possible à une gamme étendue de conditions de vieillissement, avec plus spécialement une prise en compte des endroits pour lesquels les conditions de vieillissement sont les plus sévères, par exemple les points chauds. Le lieu de prélèvement et les informations disponibles portant sur l'historique des conditions d'environnement au lieu de prélèvement doivent faire partie de la documentation.

Les procédures d'échantillonnage doivent être conformes et cohérentes avec les instructions locales, prenant en compte la sécurité du personnel et des équipements. Il convient de minimiser la manipulation des équipements durant le prélèvement des échantillons sur la centrale, par exemple il convient que les câbles ne soient pas courbés plus que nécessaire pendant le prélèvement de l'échantillon.

Les mesures de l'allongement à la rupture sont dépendantes de la formule des matériaux et peuvent être sensibles aux écarts observés en fabrication, tels que la porosité. Il est nécessaire d'évaluer toute modification de la formule.

5.2.2 Exigences portant sur l'échantillon

Lors de la préparation d'échantillons prélevés sur des câbles entiers ayant été vieillis en laboratoire ou en dépôt sur site, les échantillons doivent être pris dans des sections de câble situées à au moins 100 mm des extrémités des câbles, sauf les extrémités des câbles étaient hermétiquement fermées durant la phase de vieillissement.

Pour obtenir une confiance raisonnable, un minimum de 5 éprouvettes est exigible pour réaliser les mesures d'allongement à faire sur un échantillon particulier. Néanmoins, il est reconnu que dans certains cas, par exemple pour les échantillons prélevés sur les points chauds, il peut ne pas y avoir suffisamment de matériau disponible pour réaliser ce nombre minimum d'éprouvettes.

Les éprouvettes peuvent être préparées à partir de l'équipement pris sur le lieu de prélèvement ou autrement ils peuvent être préparés à l'avance et placés aux endroits choisis pour l'échantillonnage.

On doit faire attention à éviter les conditions de stockage non appropriées pour le laps de temps séparant le prélèvement des mesures. Il est recommandé que les échantillons soient stockés dans l'obscurité à une température ne dépassant pas 25 °C et dans des conditions de taux d'humidité comprises entre 45 % et 75 %.

5.3 Préparation des éprouvettes

5.3.1 Considérations générales

Lorsque les essais d'allongement sont à réaliser dans le cadre d'un programme de surveillance de l'état comprenant des mesures comparables et consécutives, les méthodes de préparation des éprouvettes utilisées ainsi que les formes et dimensions de celles-ci doivent être identiques.

Le type d'éprouvette utilisé pour les mesures d'allongement va dépendre de la forme géométrique de l'équipement sur lequel on prélève l'échantillon. Lorsque c'est possible on doit utiliser des éprouvette de type haltère. Pour certains équipements, par exemple l'isolant des conducteurs des câbles de faible diamètre, on ne peut pas préparer des éprouvette de type haltère et des éprouvettes de type tubulaires doivent être utilisés comme spécifié en 5.3.2. Les éprouvettes toriques peuvent aussi être utilisés comme éprouvettes d'essai le cas échéant.

Les éprouvettes de type haltère, tubulaires ou toriques sont les formes les plus communes d'éprouvettes utilisées pour la surveillance d'état. Pour certains équipements il peut être nécessaire d'utiliser d'autres formes géométriques d'éprouvette.

Les éprouvettes préparées à partir d'équipements avant leur vieillissement, par exemple pour être placées en dépôt sur site, peuvent être utilisées. On doit prêter attention au fait que l'oxydation en diffusion limitée ne soit pas un problème lorsqu'on utilise des éprouvettes préparées à l'avance comparées à d'autres préparées après vieillissement.

NOTE 1 La préparation des éprouvettes d'essai à partir d'échantillons vieillis peut être difficile – voir l'annexe B qui suggère des approches pour préparer de tels matériaux.

NOTE 2 Des études récentes ont montré peu de différence entre l'oxydation d'échantillons prélevés sur des câbles entiers et celle d'éprouvettes préparées à l'avance vieillis (voir la bibliographie: JNES-SS-0903), pour les câbles de faible diamètre dans un nombre limité de matériaux particuliers.

5.3.2 Eprouvettes de type haltère

Des recommandations portant sur la forme et les dimensions des éprouvettes de type haltère sont fournies par l'Annexe A. les éprouvettes d'essai doivent être découpées dans un échantillon en utilisant un emporte pièce adapté (voir l'Annexe D).

Pour les échantillons utilisés dans le cadre de la surveillance d'état, il n'y a habituellement qu'un volume limité de matériau disponible. Pour cette raison, l'utilisation d'éprouvettes plus petites que celles utilisées pour les mesures de traction peut être nécessaire.

5.3.3 Eprouvettes tubulaires

Les éprouvettes tubulaires sont utilisées pour les équipements tels que l'isolant des câbles lorsque le diamètre du conducteur est trop petit pour pouvoir découper des éprouvettes de type haltère. Les éprouvettes tubulaires sont préparées en retirant sur des coupes de câble le conducteur de l'isolant. La longueur minimum de l'isolant dépouillé de son conducteur doit être au minimum de 50 mm.

On doit faire attention à ne pas endommager l'isolant polymérique lorsqu'on retire le conducteur. Voir l'Annexe B pour les méthodes suggérées de préparation des éprouvettes.

Pour ce type d'éprouvette, des renforts d'extrémité sont nécessaires pour prévenir les déchirures dans les mors de serrage de la machine d'essai de traction, comme indiqué en détail par l'annexe A.

5.3.4 Eprouvettes toriques

Des bagues toriques peuvent être utilisées comme éprouvettes d'essai. Il est essentiel que les dimensions d'éprouvette utilisées pour les échantillons vieillis et non vieillis dans le cadre de la surveillance de l'état, soient les mêmes. Les échantillons toriques peuvent être prélevés sur des équipements vieillis.

5.4 Instrumentation

5.4.1 Machine d'essai de traction

L'instrument utilisé pour les mesures d'allongement en traction doit être capable de mesurer la force exercée sur l'éprouvette et la distance séparant les mors de serrage de l'éprouvette

durant l'étirage de l'éprouvette à une vitesse constante. La machine d'essai doit pouvoir réaliser l'essai à des vitesses d'essai variant entre $10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ et $100 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ avec une tolérance de $\pm 10 \%$.

Les mors de serrage de l'éprouvette doivent être solidarisés à la machine d'essai pour que l'axe longitudinal de l'éprouvette coïncide avec la ligne de traction passant au centre de l'assemblage de serrage. L'éprouvette d'essai doit être maintenue de façon à éviter qu'elle ne glisse des mors de serrage. Les mors pneumatiques sont préférés aux mors mécaniques. Le système de serrage ne doit pas produire de contrainte inutile sur l'éprouvette qui aurait pour conséquence une rupture prématurée de celui-ci au niveau des mors.

Pour l'essai d'éprouvettes toriques, la machine d'essai doit présenter deux poulies ou deux axes arrondis, un situé sur la partie fixe et un sur la partie mobile. Ces poulies ou axes doivent être alignés par rapport à la direction de traction et doivent avoir un diamètre inférieur au tiers du diamètre interne initial de l'éprouvette torique et supérieur à trois fois la section du brin de l'éprouvette.

L'indicateur de force doit être capable d'afficher la force de traction à laquelle est soumise l'éprouvette et indiquer la valeur de cette force avec une précision inférieure à 1 % par rapport à la valeur réelle.

5.4.2 Etalonnage

L'instrument doit être étalonné conformément aux recommandations du constructeur pour la valeur de la force et la gamme d'allongement adaptées pour l'éprouvette à tester.

5.4.3 Utilisation de l'extensomètre

La mesure de la distance séparant les mors ou le déplacement de la partie mobile de la machine d'essai de traction étalonnée suivant les spécifications du constructeur doit permettre de réaliser l'allongement de l'éprouvette pendant l'essai de traction.

Un extensomètre peut être une autre méthode utilisable pour mesurer l'allongement. Dans ce cas, il doit être du type sans contact. Les extensomètres vidéo sans contact disponibles peuvent être utilisés pour mesurer l'allongement des éprouvettes avec un haut niveau de précision si nécessaire. Lorsque de tels extensomètres sont utilisés, on doit faire une paire de marques de repérage sur la surface de l'éprouvette au niveau de la partie rectiligne de l'éprouvette. La distance entre ces marques doit être égale à la longueur de l'éprouvette pour celles de type haltère et de 20 mm pour les tubulaires.

La même méthode de mesure de l'allongement de l'éprouvette doit être utilisée pour les échantillons vieillis comme pour ceux non vieillis.

5.5 Méthode de mesure de l'allongement par traction

5.5.1 Mise en condition

Les éprouvette doivent être conditionnées à la température du laboratoire à $(25 \pm 5) ^\circ\text{C}$ et à un taux d'humidité relative situé entre 45 % et 75 % pendant au moins 3 h avant l'essai.

5.5.2 Dimensions des éprouvettes d'essai

Lorsqu'on a à mesurer la résistance à la traction comme information complémentaire de l'essai de traction, on doit déterminer les dimensions de l'éprouvette d'essai comme suit.

Pour les éprouvettes de type haltère on doit mesurer l'épaisseur et la largeur au niveau de la partie rectiligne de l'éprouvette. Ces dimensions doivent être mesurées à 0,1 mm près en utilisant des instruments adapté tels qu'un pied à coulisse ou un comparateur.

Pour les éprouvettes tubulaires, le diamètre et l'épaisseur doivent être mesurées. Une mesure optique de l'épaisseur en différentes positions radiales de l'éprouvette doit être faite. Si possible un nombre de 6 positions radiales est recommandé. Lorsque l'épaisseur est variable, par exemple pour de l'isolant recouvrant un conducteur multi brins, on doit estimer au mieux la zone de coupe.

Pour les éprouvettes toriques, le diamètre interne et l'épaisseur radiale doivent être mesurées. Le diamètre interne doit être mesuré en utilisant un cône de mesure calibré ou un autre instrument de mesure adapté.

5.5.3 Serrage

Les éprouvettes de type haltère ou tubulaires doivent être placées dans les mors de serrage d'essai assurant que l'axe longitudinal de l'éprouvette est aligné avec l'axe de la machine d'essai. Les mors de serrage doivent être serrés de façon égale et fermement pour éviter que l'éprouvette n'échappe durant l'essai. La distance séparant les mors de serrage doit être telle que seules les parties les plus larges de l'éprouvettes de type haltère soient en contact avec les mors de serrage. Pour les éprouvettes tubulaires, la distance séparant les mors de serrage doit être de 30 mm.

Pour les échantillons toriques, l'éprouvette doit être placée sur les poulies ou les axes fixées sur la partie fixe et la partie mobile de la machine d'essai, garantissant ainsi que l'éprouvette ne subit pas de torsion.

5.5.4 Vitesse d'essai

Les vitesses d'essai recommandées sont indiquées dans la Table 1. La même vitesse doit être utilisée pour tous les essais réalisés sur le même matériau.

Tableau 1 – Vitesses d'essai pour les mesures d'allongement

Type d'éprouvette	Vitesse d'essai (mm·min ⁻¹)
Eprouvettes de type haltère – types 1, 1A and 2	20
Eprouvettes de type haltère – type 3	10
Eprouvettes tubulaires	50
Eprouvettes toriques	50

Les types font référence au Tableau A.1 de l'Annexe A.

Ces vitesses d'essai sont plus faibles que celles normalement utilisées pour les essais en traction des éprouvettes polymériques réalisés dans le cadre de l'AQ, néanmoins ceci est recommandé car des vitesses d'essai plus faibles facilitent la reproduction de l'essai au niveau des résultats. De plus, les mesures peuvent ne pas être nécessairement comparables à des essais réalisés à des vitesses plus élevées. Ainsi les valeurs d'allongement à la rupture obtenues à partir d'essais réalisés à des vitesses supérieures peuvent ne pas être adaptées pour servir de valeurs de référence dans le cadre de la surveillance d'état. Pour les essais de la surveillance d'état, le volume de matériau disponible pour l'essai est très limité et il n'y a souvent pas de possibilité de préparer plus d'éprouvettes.

5.5.5 Enregistrement des données

La force traction exercée sur l'éprouvette et la distance correspondante séparant les mors de serrage doivent être enregistrées durant l'essai, si possible en utilisant un système d'enregistrement automatique qui permet d'afficher la courbe force-allongement pour la durée de l'essai. L'essai doit se poursuivre jusqu'à rupture de l'éprouvette.

Des exemples classiques de courbes force-allongement sont présentés en Annexe C.

5.5.6 Calcul des résultats

Pour les éprouvettes de type haltère et tubulaires, l'allongement à la rupture peut être calculé à partir de la formule:

$$\varepsilon (\%) = 100 \times \frac{E_b - E_0}{E_0} \quad (1)$$

où ε est l'allongement à la rupture exprimé comme un pourcentage, E_0 est la distance initiale séparant les mors de serrage et E_b est la même distance à la rupture de l'éprouvette.

Lorsqu'on utilise un extensomètre sans contact pour l'essai, les paramètres E_0 et E_b représentent la distance initiale séparant les marques de repérage et respectivement la même distance au moment de la rupture.

Pour les éprouvettes toriques, l'allongement à la rupture est donné par la formule:

$$\varepsilon (\%) = 100 \times \frac{\pi d + 2L_b - C}{C} \quad (2)$$

où, L_b est la distance séparant les axes des poulies à la rupture, C la circonférence initiale interne de la bague et d est le diamètre des poulies.

NOTE 1 Le calcul de l'allongement à la rupture fait l'hypothèse que les frictions sont négligeables entre les poulies ou les axes d'essai et le matériau constituant l'éprouvette torique.

La moyenne arithmétique et l'écart type des résultats d'essai doivent être calculés. Les données correspondant aux éprouvettes qui se cassent dans les mors de serrage ou qui en glissent ne doivent pas être pris en compte pour le calcul de la moyenne. Chacune de ces données doit apparaître de façon isolée dans la documentation.

NOTE 2 La résistance en traction des éprouvettes d'essai peut aussi être obtenue à partir de données complémentaires d'essai. La résistance en traction est calculée à partir de la section de coupe transverse de l'éprouvette sur la longueur de référence.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3)$$

où σ est la résistance en traction, exprimée en MPa; F est la force mesurée lors de la rupture exprimée en Newton; A est la section de coupe transverse de l'éprouvette exprimée en mm². Les sections de coupe transverse pour les éprouvettes tubulaires sont données par:

$$A = \pi \times (D - \delta) \times \delta \quad (4)$$

où D est la valeur moyenne du diamètre externe et δ est la valeur moyenne de l'épaisseur (voir 5.5.2).

5.6 Rapport d'essai

Le rapport de mesure doit comprendre les éléments suivants:

- a) Identification de l'équipement sur lequel l'échantillon a été prélevé, ceci doit comprendre:
 - Les détails concernant les matériaux échantillonnés par exemple type de polymère générique, nombres de formule particuliers.
 - Lieu de prélèvement de l'échantillon.
 - Pour les échantillons prélevés sur la tranche, le lieu de prélèvement.
- b) L'historique de l'équipement sur lequel l'échantillon a été prélevé; ceci doit comprendre:
 - Le temps de service, ou le temps de vieillissement pour les échantillons vieillis en laboratoire.

- Les conditions d'environnement auxquelles l'échantillon a été exposé, par exemple la température, les rayonnements.
 - Le temps de stabilisation pour les échantillons non vieillis.
- c) Le lieu et la date des mesures.
- d) Le nombre d'éprouvettes mesurés (5.2.2).
- e) Les détails de la préparation des éprouvettes (5.3 et Annexe B).
- f) Type d'éprouvette – haltère/tubulaire/torique et le type des extrémités (manchette/insert) utilisées, les dimensions de l'éprouvette; indiquer si l'éprouvette a été préparée avant ou après vieillissement (5.3 et 5.5.2).
- g) L'instrumentation utilisée et les versions logicielles utilisées pour l'analyse (5.4.1).
- h) Procédure d'étalonnage (5.4.2).
- i) Type d'extensomètre utilisé le cas échéant (5.4.3).
- j) Type de mors de serrage utilisés pour maintenir l'éprouvette ou diamètre des poulies pour les éprouvettes toriques (5.5.3).
- k) Vitesse d'essai utilisée (5.5.4).
- l) Lorsque l'allongement est calculé à partir de la longueur de référence, en utilisant un extensomètre ou un allongement nominal (5.5.6).
- m) Valeurs d'allongement individuel (en %), valeur moyenne et écart type; indiquer dans la colonne commentaire toute valeur exclue du calcul de la valeur moyenne du fait d'une défaillance au niveau serrage ou d'un échappement. Si les valeurs en MPa doivent être aussi calculées, il convient que celles-ci soient mentionnées comme données complémentaires.
- n) Exemples classiques de tracé de la force par rapport à l'allongement. Tous les tracés particuliers doivent être joints.

Annexe A (informative)

Forme et dimensions des éprouvettes d'essai

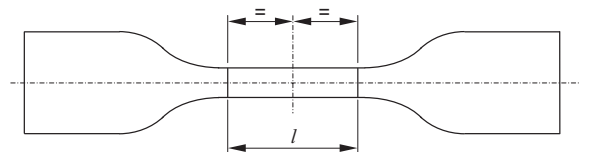
A.1 Préparation des éprouvettes de type haltère

La forme recommandée pour les éprouvettes de type haltère est indiquée par la Figure A.1 dont les dimensions sont spécifiées dans le Tableau A.1.

Les éprouvettes haltère peuvent être utilisées avec des dimensions différentes de celles fournies par le Tableau 1, par exemple pour être conforme à des normes nationales. Cependant il est important pour pouvoir reproduire les essais d'utiliser les mêmes dimensions que celles utilisées pour établir la référence de mesure et pour les échantillons prélevés sur le matériau vieilli.

Les éprouvettes d'essai sont découpées dans l'échantillon prélevé sur l'équipement (par exemple une coupe de câble) en utilisant un emporte pièce, tel que décrit à l'Annexe D.

Il convient que les éprouvettes ne soient pas préparées à partir d'échantillons de matériau en feuille. Les échantillons de matériaux en feuille sont souvent beaucoup plus épais que lorsque celui-ci est utilisé sur l'équipement tel que par exemple les câbles. Ceci peut par exemple soulever le problème de l'oxydation à diffusion limitée et les différences au niveau de l'orientation des structures moléculaires si des échantillons de matériaux en feuille sont utilisés.



IEC 1978/12

Légende

l est la longueur de référence

Figure A.1 – Forme des éprouvettes de type haltère

Tableau A.1 – Dimensions recommandées pour les éprouvettes de type haltère

Dimension mm	Type 1	Type 1A	Type 2	Type 3
Longueur totale – minimum	115	100	75	50
Largeur aux extrémités	25 ± 1	25 ± 1	$12,5 \pm 1$	$8,5 \pm 0,5$
Longueur de la partie étroite	33 ± 2	22 ± 1	25 ± 1	16 ± 1
Largeur de la partie étroite	$6 \pm 0,2$	$5 \pm 0,1$	$4 \pm 0,1$	$4 \pm 0,1$
Longueur de référence	25 ± 1	$20 \pm 0,5$	$20 \pm 0,5$	$10 \pm 0,5$
NOTE Le type 1 est équivalent à l'ASTM D-412-C.				

A.2 Eprouvettes tubulaires

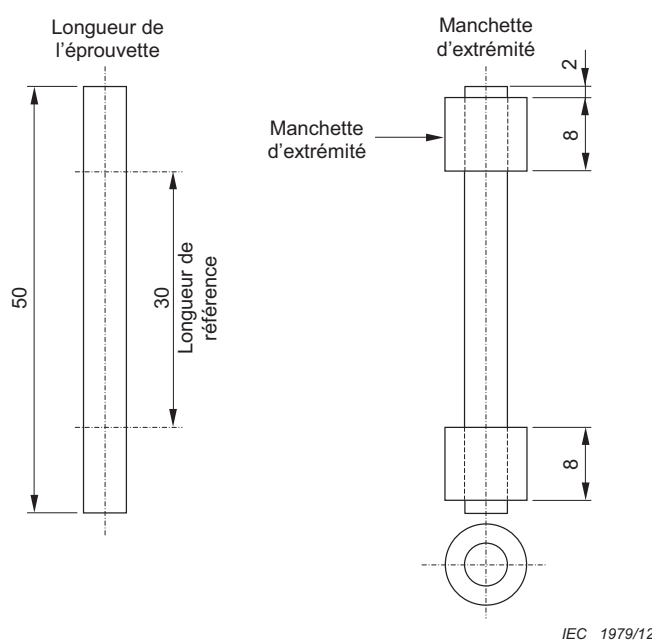
Les éprouvettes tubulaires sont utilisées pour des équipements tels que l'isolant des câbles pour lesquels le diamètre du conducteur est trop faible pour permettre de découper des éprouvettes de type haltère. Les éprouvettes tubulaires sont préparées en retirant du matériau isolant, le conducteur d'une coupe. La dimension totale de l'isolant dépouillé doit être au minimum de 50 mm.

On doit faire attention à éviter tout endommagement de l'isolant polymérique lorsque on retire le conducteur. Voir l'Annexe B pour les suggestions de méthodes de préparation des éprouvettes.

Avec ce type d'éprouvette, l'emploi des manchettes ou les inserts souples pour les extrémités est nécessaire pour éviter les déchirures au niveau des mors de serrage de la machine d'essai en traction. Pour les éprouvettes tubulaires présentant un diamètre externe inférieur à 4 mm les manchettes pour les extrémités sont à utiliser comme l'indique la Figure A.2. Pour les éprouvettes tubulaires de diamètre supérieur, des inserts souples sont à utiliser comme l'indique la Figure A.3.

Les manchettes et/ou les inserts sont nécessairement constitués de matériaux polymériques dont la composition est comparable à celle du matériau testé. La combinaison des manchettes et/ou des inserts permet d'éviter les contraintes excessives sur l'éprouvette lorsqu'elle est maintenue par les mors. Ceci est comparable à l'utilisation d'éprouvettes de type haltère pour lesquelles les contraintes se concentrent sur la longueur de référence lors de l'essai.

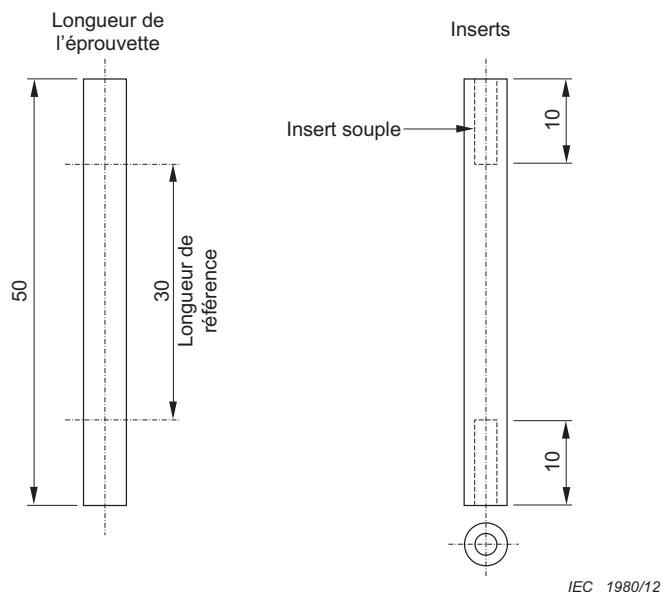
Pour préparer les éprouvettes tubulaires pour l'essai, on coupe une éprouvette à la longueur de 50 mm. Pour les éprouvettes dont le diamètre est inférieur à 4 mm, on découpe deux manchettes de 8 mm de long et on y glisse les extrémités de l'éprouvette, laissant dépasser l'extrémité de l'éprouvette de 2 mm des manchettes. Pour les éprouvettes d'un diamètre supérieur, découper deux inserts de 10 mm de long et les introduire dans les extrémités de l'éprouvette tubulaires. On place l'éprouvette dans la machine d'essai et on serre les mors sur celle-ci de façon à laisser une longueur de référence de 30 mm.



IEC 1979/12

Dimensions en millimètres

Figure A.2 – Mise en place des manchettes sur une éprouvette tubulaire

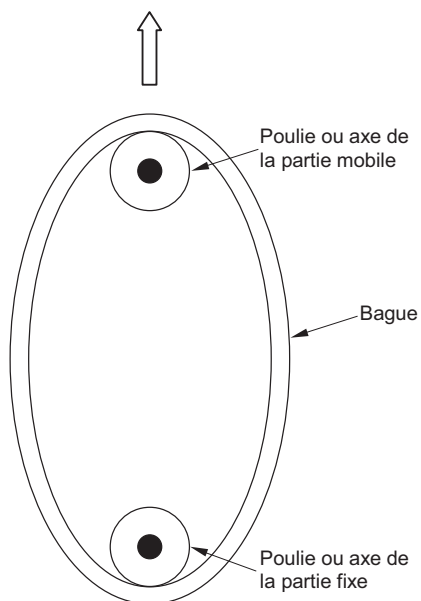


Dimensions en millimètres

Figure A.3 – Mise en place des inserts souples sur une éprouvette tubulaire

A.3 Eprouvettes toriques

Les bagues sont à tester intactes, montées sur la machine d'essai comme indiqué par la Figure A.4. Si la bague est de diamètre interne trop faible pour utiliser les poulies de maintien, la bague peut être coupée et les extrémités de celle-ci utilisées avec les mors habituels.



IEC 1981/12

Figure A.4 – Montage d'une éprouvette torique sur la machine d'essai

Annexe B (informative)

Préparation des éprouvettes d'essai à partir des échantillons de câble

B.1 Dispositions générales

La préparation d'éprouvettes adaptées à la détermination de l'allongement à la rupture peut être difficile et le niveau de difficulté dépend habituellement et du type de fabrication du câble et de son état de vieillissement. Pour les câbles qui ont vieilli dans l'environnement réacteur (coupe de câble prélevée durant les réparations lors des arrêts de tranche ou lorsqu'on a retenu la méthode des dépôts sur site), il est prévisible que les longueurs des coupes de câbles soient courtes et que les volumes de matériaux de base disponibles pour réaliser les essais soient limités. Il est donc important d'être capable de produire des éprouvettes pour les essais de façon efficace.

B.2 Préparation des éprouvettes à partir de câbles de gros diamètre

Pour les câbles dont le diamètre du conducteur est important, par exemple les câbles de puissance, il est habituellement suffisant de peler le câble en retirant sa gaine à l'aide d'un couteau aiguisé et en retirant systématiquement tout les blindages et les enveloppes, ceci pour atteindre l'isolant qui peut aussi être retiré en utilisant un couteau aiguisé. On peut alors découper des éprouvettes de type haltère à partir du matériau prélevé sur le câble en utilisant un emporte pièce comme recommandé en 5.3.2. Dans de nombreux cas, les éprouvettes seront découpées à partir d'échantillon de matériau de forme tubulaire et nécessiteront d'être aplaties avant le découpage à l'emporte pièce. Pour un câble vieilli, il peut être approprié de découper le matériau en petite coupe pour éviter les contraintes excessives qui peuvent survenir lors de l'aplatissage des coupes tubulaires.

Dans de nombreux cas, les échantillons à partir desquels sont découpées les éprouvettes sont d'une épaisseur inégale. L'échantillon peut être rectifié pour obtenir une épaisseur uniforme en utilisant une machine de coupe telle que celle présentée dans la norme CEI 60811-1-1 (voir la Bibliographie de la présente norme) qui utilise une paire de galets d'entraînement pour faire présenter l'échantillon face au tranchant d'une lame très affûtée. Autrement une machine abrasive motorisée peut être utilisée pour éliminer les irrégularités de surface. Il convient qu'une telle machine ait une vitesse périphérique comprise entre $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ to $25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, exercer une pression faible sur l'échantillon et réaliser des passes lentes pour qu'une faible quantité de matériau soit enlevé lors d'une passe.

Si les éprouvettes sont préparées à partir de d'éclats ou de rognures de matériau, il convient que les éprouvettes soient stabilisées à la température du laboratoire au moins 24 h avant l'essai.

B.3 Préparation des éprouvettes à partir de câbles de petit diamètre

Pour les câbles dont le diamètre du conducteur est faible, par exemple pour la plupart de l'instrumentation et du contrôle-commande, il est improbable que les éprouvettes puissent être découpées en utilisant un emporte pièce et il convient que les échantillons fassent l'objet d'une préparation. Dans ce cas il est suggéré que le câble soit pelé, qu'on fasse des coupes de 70 mm et qu'on retire approximativement 10 mm d'isolant pour mettre à nu les brins conducteurs.

Pour enlever le conducteur de l'isolant, il convient d'employer une des méthodes suivantes. Il est important de minimiser les contraintes exercées sur les matériaux polymériques durant la préparation de l'échantillon. Ainsi les méthodes a) et b) indiquées ci-dessous sont préférées.

Il convient de n'utiliser les méthodes c), d) et e) qu'en cas de problèmes rencontrés avec les méthodes précédentes.

- a) On identifie un des brins central du conducteur et on le retire avec délicatesse en tirant dessus avec une pince tenue d'une main alors qu'on tient l'isolant dans l'autre main. Lorsqu'un brin a été retiré, il peut être possible de retirer les autres brins de la même façon. Dans le cas de câble vieillis, on doit faire attention lorsqu'on retire les derniers brins dont le métal peut avoir adhéré à l'isolant et l'opération nécessite d'être réalisée doucement pour éviter d'endommager l'échantillon d'isolant. Lorsque l'opération est terminée, la taille de l'éprouvette est à ramener à 50 mm de long, voir 5.3.3.
- b) Dans le cas de conducteurs mono-brin, on considère qu'il est plus approprié d'utiliser un dénudeur dynamométrique et de commencer à une extrémité de l'échantillon d'isolant et de retirer soigneusement l'isolant en répétant des opérations lentes à l'aide du dénudeur de câble.
- c) Le prélèvement de l'isolant sur les câbles en mono brin peut aussi être facilité par une légère tension du conducteur. Il convient de retenir l'allongement minimum nécessaire pour séparer l'isolant du conducteur.
- d) Une autre pratique utilisée pour séparer les conducteurs de l'isolant consiste à rouler le câble à la main sur une surface lisse pour séparer les conducteurs et pouvoir les retirer. Si cette méthode permet de retirer des échantillons d'isolant des conducteurs, il est probable que cette opération produise des contraintes sur l'isolant qui peuvent avoir une influence sur les résultats des essais en traction. Lorsque les câbles sont vieillis, l'opération de roulage peut même provoquer des défauts qui auront pour conséquence la mesure d'une valeur de l'allongement à la rupture plus faible.
- e) Lorsque les conducteurs ont adhéré à l'isolant et que leur retrait est difficile, l'application limitée de chaleur pour doucement réchauffer l'échantillon avant d'utiliser le dénudeur de câble peut être utilisée avec succès. Il convient de faire cela uniquement lorsque toutes les autres méthodes ont échoué. Il convient que la durée de chauffe soit aussi courte que possible et que la température n'excède pas 50 °C. En aucun cas une température excessive ne doit être utilisée du fait que les solvants peuvent entraîner l'apparition de cloques et de la fonte du matériau isolant. De plus la présence de solvants peut entraîner une rupture prématurée lors de l'essai en traction du fait de contraintes liées à la corrosion relative à l'environnement.

Il convient que toutes les éprouvettes tubulaires fassent l'objet d'une stabilisation au niveau de la température du laboratoire pendant une durée de 24 h après préparation de l'éprouvette et avant que l'essai ne soit réalisé.

B.4 Préparation des éprouvettes avec un matériau présentant des adhérences

Certains fabricant de câbles utilisent des matériaux adhérents pour la fabrication de leurs câbles, par exemple isolant EPR (Caoutchouc d'éthylène-propylène) adhérent à une couche de CSPE (Polyéthylène chlorosulphoné). Lorsque ce matériau adhérent est suffisamment large pour réaliser des éprouvettes de type haltère, le matériau peut être débité en feuille ou abrasé (comme indiqué à l'Article B.2) pour retirer des couches. De cette façon, les deux composants des couches adhérentes peuvent être testés séparément.

Pour les câbles plus petits, lorsqu'on a à préparer des éprouvettes tubulaires, il n'est généralement pas possible de séparer les couches adhérentes. Dans ce cas les mesures d'allongement sont faites sur les deux couches. Ceci peut entraîner une dispersion plus grande des résultats d'essai, car les deux matériaux peuvent présenter des valeurs d'allongement à la rupture différentes l'une de l'autre, il convient de noter ceci dans la section commentaire du rapport d'essai.

Annexe C (informative)

Exemples classiques de courbes représentant la force par rapport à l'allongement

Des exemples classiques de courbes représentant la force par rapport à l'allongement sont donnés par la Figure C.1. Les exemples montrés correspondent à des matériaux qui sont cassants – la courbe (a); résistants, avec un seuil d'écoulement – courbes (b) et (c); résistants sans seuil d'écoulement – courbe (d). Pour chacun de ces types de courbe, les valeurs d'allongement E_b et de force à la rupture F_b , qui sont utilisées dans les calculs d'allongement à la rupture et de résistance en traction, sont indiquées.

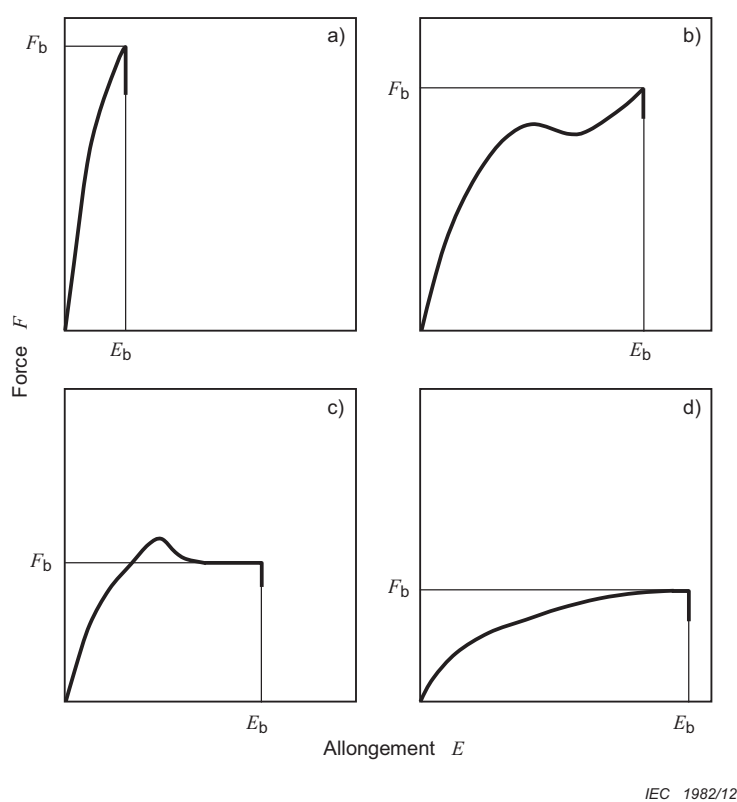
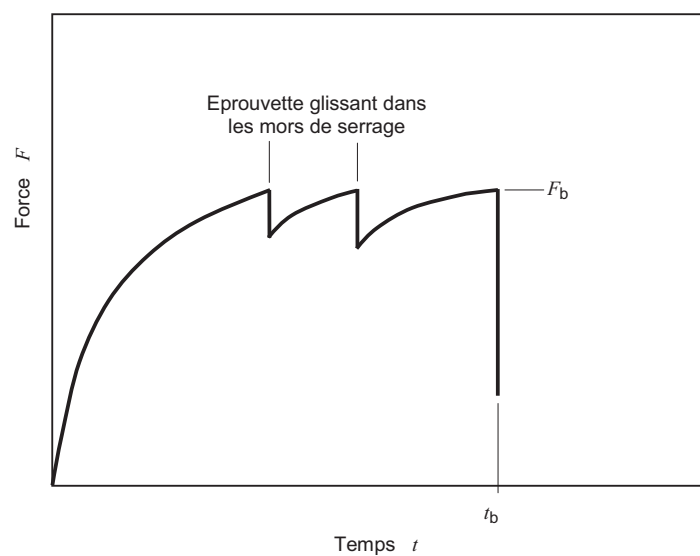


Figure C.1 – Exemples classiques de courbes représentant la force en fonction de l'allongement

Lorsque l'éprouvette glisse des mors de serrage durant l'essai de traction, cela se voit clairement sur un tracé de la force en fonction du temps, tel que sur la Figure C.2. Lorsque cela arrive, il convient que la valeur d'allongement fasse l'objet d'un rapport séparé mais ne sera pas prise en compte dans le calcul de la valeur moyenne.



IEC 1983/12

Figure C.2 – Exemples classiques de courbes représentant la force en fonction du temps avec l'éprouvette glissant dans les mors de serrage

Annexe D (normative)

Emporte pièce pour découper les éprouvettes de type haltère

L'emporte pièce utilisé pour la préparation des éprouvettes de type haltère doit avoir la forme présentée à la Figure D.1, et les dimensions correspondantes à celles fournies par le Tableau A.1 de l'Annexe A.

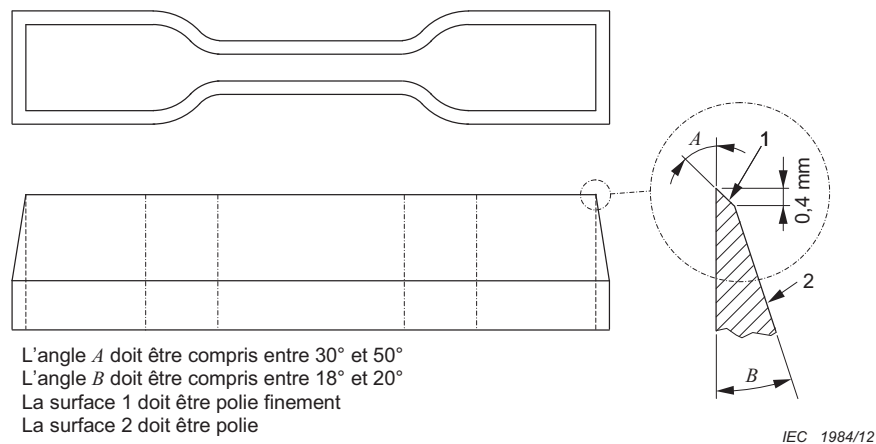


Figure D.1 – Emporte pièce adapté à la coupe des éprouvettes de type haltère

Annexe E (informative)

Exemple de rapport de mesure pour les mesures d'allongement à la traction

Cet exemple est tiré d'un programme d'essai d'évaluation réalisé dans le cadre d'un programme de recherche coordonné de l'AIEA sur le vieillissement des câbles.

ID de l'équipement	Isolant de câble 1129, prélevé sur un câble à 4 conducteur AIW câble, D14		
Matériau	Isolant composite EPR + CSPE , 1 mm d'épaisseur – vert		
Historique	Matériau non vieilli Durée de stabilisation > 6 mois Durée de conditionnement avant essai > 24 h		
Lieu et date de la mesure	13 Mai 1998 Ontario Hydro		
Type d'éprouvette	Tubulaire, avec manchettes aux extrémités Eprouvette préparée avant vieillissement		
Longueur d'essai ou de référence	30 mm		
Instrument	Instron		
Méthode d'étalonnage	Poids mort Voir le rapport d'étalonnage No xxxx		
Type de mors de serrage	Pneumatique		
Extensomètre	Aucun		
Vitesse d'essai	50 mm·min ⁻¹		
Nombre d'éprouvettes mesurées	5		
Valeurs d'allongement et de résistance		Allongement (%)	Résistance (MPa)
	Eprouvette 1 –	312,2	
	Eprouvette 2 –	326,8	
	Eprouvette 3 –	309,4	
	Eprouvette 4 –	329,6	
	Eprouvette 5 –	351,1	
	Valeur moyenne	325,8	
	Ecart type	16,6	

Commentaires:

Bibliographie

CEI 60544-5, *Matériaux isolants électriques – Détermination des effets des rayonnements ionisants – Partie 5: Procédures pour l'estimation du vieillissement en service*

CEI 60780, *Centrales nucléaires – Equipements électriques de sûreté – Qualification*

CEI 60811-1-1, *Méthodes d'essais communes pour les matériaux d'isolation et de gainage des câbles électriques et des câbles optiques – Partie 1-1: Méthodes d'application générales. Mesures des épaisseurs et des dimensions extérieures – Détermination des propriétés mécaniques*

CEI 62582-1, *Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation et contrôle-commande importants pour la sûreté – Méthodes de surveillance de l'état des matériels électriques – Partie 1: Généralités*

ISO 37:2011, *Caoutchouc vulcanisé ou thermoplastique – Détermination des caractéristiques de contrainte-déformation en traction*

ISO 527-1:2012, *Plastiques – Détermination des propriétés en traction – Partie 1: Principes généraux*

ASTM D638, *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*

ASTM D1414 – 94(2008), *Standard Test Methods for Rubber O-Rings*

IAEA-TECDOC-1188:2000, *Assessment and management of ageing of major nuclear power plant components important to safety: In-containment instrumentation and control cables*, IAEA, Vienna

IEEE Std 323, *IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations*

JNES-SS-0903, 2009, *The final report of the project "Assessment of cable ageing for nuclear power plant"*, T Yamamoto & T Minakawa, Japan Nuclear Energy Safety Organisation, Nuclear Energy System Safety Division

NUREG/CR-6704, Vol. 2 (BNL-NUREG-52610), *Assessment of Environmental Qualification Practices and Condition Monitoring Techniques for Low-Voltage Electric Cables, Condition Monitoring Test Results*

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembe
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch