

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

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

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





THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2011 IEC, Geneva, Switzerland

Copyright © 2011 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
Email: inmail@iec.ch
Web: www.iec.ch

Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
3 Park Avenue
New York, NY 10016-5597
United States of America
Email: stds.ipr@ieee.org
Web: 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; corrigenda or amendments might have been published.

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

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- 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: www.iec.ch/online_news/justpub

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and also by monthly email.

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

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

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

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

N

CONTENTS

FOREWORD	3
INTRODUCTION	5
1 Scope and object	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	7
4 Condition indicators	8
4.1 General	8
4.2 Chemical indicators	9
4.3 Physical indicators	9
4.4 Electrical indicators	9
4.5 Miscellaneous Indicators	9
5 Applicability of condition indicators to different types of organic materials	9
6 Destructive and non-destructive condition monitoring	10
7 Application of condition monitoring in equipment qualification and management of ageing	10
7.1 General	10
7.2 Use of condition monitoring in the establishment of qualified life	10
7.2.1 Establishment of qualified life	10
7.2.2 Determination of acceleration factor in accelerated thermal ageing	10
7.3 Use of condition monitoring in the extension of qualified life	12
7.4 Use of condition monitoring in the establishment and assessment of qualified condition	12
7.5 Use of baseline data	13
Bibliography	14
Figure 1 – Example of an Arrhenius diagram	11
Figure 2 – Influence of activation energy on qualified life, determined from artificial thermal ageing for 42 days at 110 °C, followed by simulated design basis event	12
Figure 3 – Illustration of condition-based qualification	13

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

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

Part 1: General

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, approved by the American National Standards Institute, 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. This Dual Logo International Standard was jointly developed by the IEC and IEEE under the terms of that agreement.

- 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 62582-1 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 between IEC and IEEE.

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/840/FDIS	45A/849/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 series, 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/62582-1/62582-1-2011/62582-1-2011_wg-participants.pdf.

INTRODUCTION

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

This part of this IEC/IEEE standard specifically focuses on methods for condition monitoring for management of ageing of electrical equipment installed in nuclear power plants and for application of the concept of qualified condition.

This part of IEC/IEEE 62582 is the first part of the IEC/IEEE 62582 series of standards, containing background and guidelines for the application of methods for condition monitoring of electrical equipment important to safety of nuclear power plants. The detailed descriptions of the methods are given in the other parts, one part for each method. This part also includes some elements which are common to all methods.

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

Condition monitoring is a developing field and more methods will be added to the IEC/IEEE 62582 when they are considered widely applied and a good reproducibility of the condition monitoring method can be demonstrated.

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 operators of nuclear power plants, systems evaluators and by licensors.

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

Part 1 of IEC/IEEE 62582 is the third level IEC SC 45A document tackling the issue of application of condition monitoring in equipment qualification and management of ageing of electrical I&C equipments in nuclear power plants.

Part 1 of IEC/IEEE 62582 is to be read in association with IEC 60780 and IEEE 323, which provide general requirements for qualification of I&C systems and equipment that are used to perform functions important to safety in NPPs and nuclear facilities.

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.

The Standard discusses the general measurement technique for current condition monitoring methods and is not meant to cover any specific technologies.

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 45A 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 and provides an interpretation of the general requirements of IEC 61508-1, IEC 61508-2 and IEC 61508-4, for the nuclear application sector. Compliance with IEC 61513 will facilitate consistency with the requirements of IEC 61508 as they have been interpreted for the nuclear industry. 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 50-C-QA (now replaced by IAEA GS-R-3) 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.

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

Part 1: General

1 Scope and object

This part of IEC/IEEE 62582 contains requirements for application of the other parts of IEC/IEEE 62582 related to specific methods for condition monitoring in electrical equipment important to safety of nuclear power plants. It also includes requirements which are common to all methods.

IEC/IEEE 62582 specifies condition monitoring methods in sufficient detail to enhance the accuracy and repeatability, and provide standard formats for reporting the results. The methods specified are applicable to electrical equipment containing organic or polymeric materials. Some methods are especially designed for the measurement of condition of a limited range of equipment whilst others can be applied to all types of equipment for which the organic parts are accessible.

Although the scope of IEC/IEEE 62582 is limited to the application of instrumentation and control systems important to safety, the condition monitoring methods may be applicable also to other components which include organic or polymeric materials.

The different parts of IEC/IEEE 62582 are measurement standards, primarily for use in the management of ageing in initial qualification and after installation. For technical background of condition monitoring methods, reference is made to other IEC standards, e.g. IEC 60544-5. Information on the role of condition monitoring in qualification of equipment important to safety is found in IEEE Std 323. General information on management of ageing can be found in IEC 62342 and IEEE 1205.

NOTE The procedures defined in the IEC/IEEE 62582 are intended for detailed condition monitoring. A simplified version of the procedures may be appropriate for preliminary assessment of the need for detailed measurements.

2 Normative references

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

IEEE Std 323:2003, *IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations*

3 Terms and definitions

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

3.1

condition indicator

characteristic of a structure, system or component that can be observed, measured or trended to infer or directly indicate the current and future ability of the structure, system or component to function within acceptance criteria

[IAEA Safety Glossary, 2007 Edition]

3.2

condition monitoring

continuous or periodic tests, inspections, measurement or trending of the performance or physical characteristics of structures, systems and components to indicate current or future performance and the potential for failure

[IAEA Safety Glossary, 2007 Edition]

3.3

equipment qualification

generation and maintenance of evidence to ensure that equipment will operate on demand, under specified service conditions, to meet system performance requirements

[IAEA Safety Glossary, 2007 Edition]

3.4

item important to safety

item that is part of a safety group and/or whose malfunction or failure could lead to radiation exposure of the site personnel or members of the public

[IAEA Safety Glossary, 2007 Edition]

3.5

qualified condition

condition of an 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

3.6

qualified life

period for which a structure, system or component has been demonstrated, through testing, analysis or experience, to be capable of functioning within acceptance criteria during specific operating conditions while retaining the ability to perform its safety functions in a design basis accident or earthquake

[IAEA Safety Glossary, 2007 Edition]

3.7

service life

period from initial operation to final withdrawal from service of a structure, system or component

[IAEA Safety Glossary, 2007 Edition]

4 Condition indicators

4.1 General

Condition monitoring should only be applied if there is a known relationship between the ageing degradation of the component monitored and the degradation of the equipment's safety function. This relationship should be established during equipment qualification. The relationship should take into account any diffusion limited rate effects that occur during accelerated ageing with high acceleration factors.

Condition monitoring programs rely on measurable indicators that provide insight into the overall degradation of the materials. To perform measurements of the condition of naturally aged components, a sample shall either be taken destructively or the measurements shall be made on the material in the field in a non-destructive way. The latter methods are preferred since they allow the material to be studied without interrupting operation; however, it is often

difficult to perform these types of measurements directly in the field with the required degree of repeatability and accuracy.

In organic materials, ageing occurs that may adversely impact the important safety function through a range of chemical reactions, including chain scission and cross-linking, which alter the polymeric structure. For condition monitoring programs, it becomes imperative to find methods that, either directly or indirectly, follow the progress of these reactions. A large number of methods exist to perform this task, which makes it difficult to provide an overview of each individual technique. Instead, this standard will focus on general groups of methods. The overall description of these groups is provided below.

4.2 Chemical indicators

As mentioned above, the degradation mechanism for organic materials follows from a series of chemical reactions in which the chemical structure of the polymer is altered. The progressive change in the chemistry of the material provides an opportunity to monitor the degradation throughout its ageing. Numerous techniques exist to perform this task, some which monitor the polymer chain degradation itself and others which monitor side reactions which are related to the degradation.

4.3 Physical indicators

Another key family of indicators includes techniques which monitor the material's physical properties. The degradation of organic materials manifests itself in changes to these physical properties (i.e. tensile strength, elongation, and hardness). By measuring these physical characteristics, it is possible to create a correlation with the aged condition of the material.

4.4 Electrical indicators

A third category of techniques involves measuring electrical properties of the materials. Many of these techniques were developed for polymeric materials used in electrical insulation. Within this family there are two basic subsets of methods. The first subset involves measuring the dielectric properties of the materials.

A second subset of methods monitors the electrical response of systems under normal operation. In these cases, a signal is passed through the electrical system and any changes from baseline are detected. These changes could be signs of degradation, whether through ageing or through physical damage.

4.5 Miscellaneous Indicators

As new technologies are developed and implemented, it becomes necessary to develop condition monitoring methods to keep pace. As such, some methods are developed specifically for certain types of materials.

5 Applicability of condition indicators to different types of organic materials

There is currently no single condition monitoring method which is suitable for all organic or polymeric materials. A basic requirement for inclusion in a part of IEC/IEEE 62582 is that the condition indicators are sensitive to the effects of ageing. An important characteristic of a useful condition indicator is that it shows a trend that changes monotonically with degradation and can be correlated with the safety related performance. An indicator that does not change for a long time and then suddenly undergoes drastic changes is not useful for prognostic applications. This can be the case with mechanical condition monitoring on semi-crystalline materials, e.g. cross-linked polyethylene and thermosetting resins, dependant on the formulation.

Information on the applicability of various condition indicators to different polymeric materials used in instrument and control equipments in nuclear power plants can be found in NUREG/CR-7000 and in IAEA-TECDOC-1188, see Bibliography.

6 Destructive and non-destructive condition monitoring

A condition monitoring method may be considered destructive or non-destructive, depending on whether the measurement or the sampling of material used for the measurement will affect operability or future ageing. Non-destructive use of condition monitoring is preferable in field measurements but with presently available methods it is limited to a few types of equipment, mainly cables, where the parts of the equipment of interest are accessible in the field. In other cases deposited samples or samples which can be replaced are needed to allow condition monitoring.

If deposited samples are available or where components can be replaced, a broader range of condition monitoring methods can be considered, including destructive methods. In this case, condition monitoring can be applied to all types of equipment where the ageing material – normally organic materials used for electrical insulation, sealing etc. – can be accessed.

7 Application of condition monitoring in equipment qualification and management of ageing

7.1 General

Condition monitoring as part of qualification and management of ageing of electrical equipment in nuclear power plants can have one or a combination of the following aims :

- determination of acceleration factors for the establishment of qualified life from artificial laboratory ageing;
- extension of qualified life;
- establishment of qualified condition;
- periodic assessment of equipment condition after installation for comparison with qualified condition.

Condition monitoring can also be used for determining whether the degradation of age sensitive materials in equipment is within specific limits. These limits are those for which it has been established that the effects on operability in specified service conditions and design basis events are negligible.

7.2 Use of condition monitoring in the establishment of qualified life

7.2.1 Establishment of qualified life

The qualified life of an equipment is generally established by accelerated ageing of samples in a laboratory, followed by verification of their capability to function within acceptance criteria during a simulated design basis event. The acceleration factor is the ratio between the rate of degradation under the laboratory simulation and in normal operating conditions in the field. Condition monitoring is used to establish activation energies for calculation of the acceleration factor in accelerated thermal ageing.

7.2.2 Determination of acceleration factor in accelerated thermal ageing

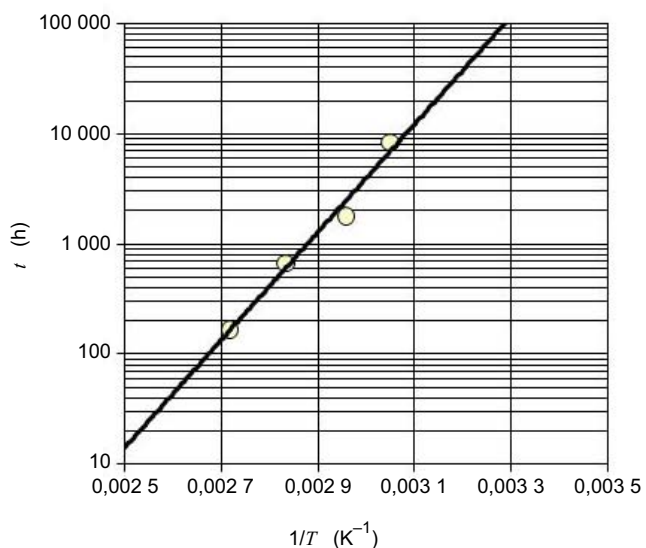
The acceleration factor F in accelerated thermal ageing is normally calculated by application of the Arrhenius equation as follows:

$$F = \frac{t_1}{t_2} = e^{\frac{E}{k} \left[\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right]} \quad (1)$$

where t_1 and t_2 are the times to reach a certain level of degradation at the temperatures T_1 and T_2 (in kelvins); E is the activation energy and k is the Boltzmann constant.

NOTE The Arrhenius equation $r = Ae^{-E/kT}$ is a formula for the temperature dependence of the rate r of a chemical reaction. A is a pre-factor (in case of first order reactions called the frequency factor with the unit s^{-1}), E is the activation energy (here with the unit eV), k is the Boltzmann constant ($0,8617 \cdot 10^{-4} \text{ eV} \cdot \text{K}^{-1}$) and T is the temperature (in K). The activation energy is defined as the energy that must be overcome in order for a chemical reaction to occur.

The activation energy of a material is normally calculated from the results of measurements of a condition indicator as a function of time at different temperatures. The pairs of values of temperature and time to reach a certain level of degradation are plotted in an Arrhenius diagram, where the inverse of temperatures (in K) are plotted on a linear scale on the abscissa and the time t is plotted on a logarithmic scale on the ordinate. An example is shown in Figure 1.

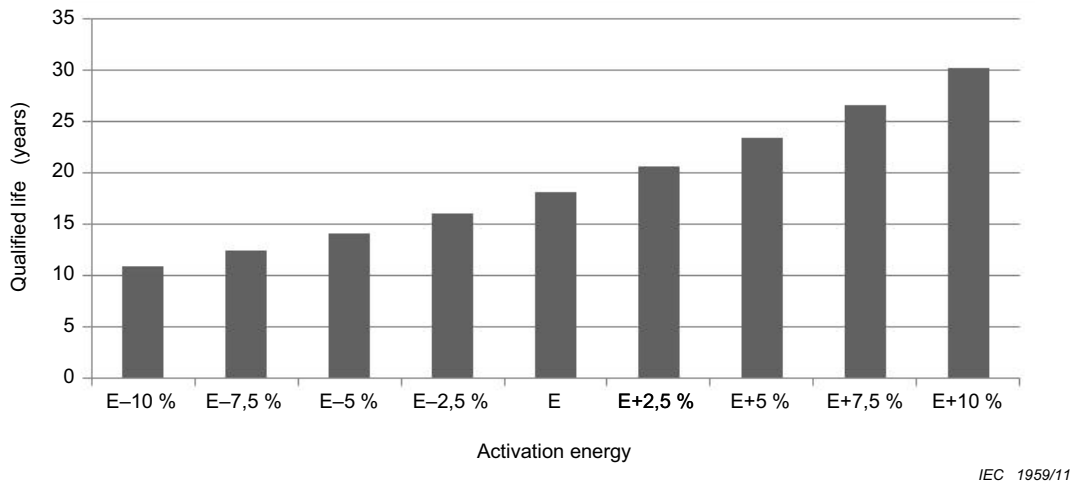


IEC 1958/11

Figure 1 – Example of an Arrhenius diagram

A straight line between the points indicates that there is an Arrhenius behaviour of the dependency between rate of degradation and temperature. The activation energy E (in eV) is calculated from the slope of the line.

The acceleration factor and, consequently, the qualified life is sensitive to the value of the activation energy. Inaccuracy in determination of the activation energy has a very significant influence on the acceleration factor and consequently on the qualified life based on tests including artificial accelerated thermal ageing. This is illustrated in Figure 2.



NOTE The normal service temperature is 50 °C. E=0,9 eV.

Figure 2 – Influence of activation energy on qualified life, determined from artificial thermal ageing for 42 days at 110 °C, followed by simulated design basis event

The example illustrates the need for high accuracy and repeatability of the condition monitoring methods used in measurements for the determination of activation energies.

7.3 Use of condition monitoring in the extension of qualified life

A high degree of conservatism is normally used in the establishment of qualified life during initial qualification testing. The conservatism takes into account uncertainties in the prediction of the field environmental conditions, uncertainties in the acceleration factors used for determination of the qualified life from simulated laboratory ageing, uncertainties in demonstrating satisfactory performance, normal variations in commercial production, and uncertainties in measurement and test equipment. Due to the conservatism and limitation of time available, combined with use of moderate acceleration factors in simulated laboratory ageing, initial qualification can result in an established qualified life which may be far from the service life that can be tolerated before a design basis event. Methods for extension of qualified life usually include monitoring of the condition of representative samples of installed equipment.

7.4 Use of condition monitoring in the establishment and assessment of qualified condition

Condition based qualification is included in IEEE 323-2003 as a complement or alternative to qualified life.

Condition based qualification is based on establishment of the values of appropriate condition indicators at the end of ageing prior to design basis event testing. These values represent the qualified condition. The benefit of using condition based qualification as a complement or alternative to qualified life is considerably enhanced if the trends (variation with time) of the values of the condition indicators are established during ageing, e.g. by performing the artificial ageing incrementally and measuring the values of the condition indicators at each increment. After installation, identical measurements of the condition of representative samples are carried out periodically and compared with the qualified condition. The principle is illustrated in Figure 3.

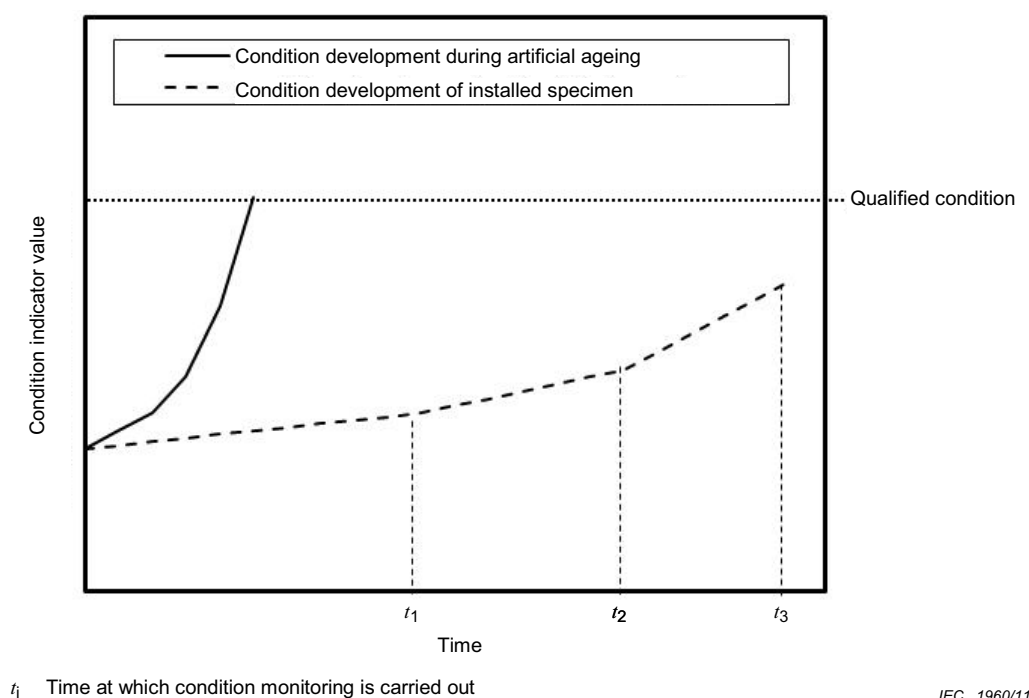


Figure 3 – Illustration of condition-based qualification

The qualified condition can be established as part of the initial qualification testing. If the initial qualification has been performed with the target to establish a qualified life only and no condition monitoring has been included, it may be possible to establish the qualified condition afterwards without repeating the design basis event testing. If identical samples of equipment are available which are new or have been stored in environmentally controlled conditions, the qualified condition can be established by repeating the ageing used in the original initial qualification testing and determining the values of appropriate condition indicators (during and) at the end of this ageing.

The measurements after installation may be made by other personnel, instrumentation and in other laboratories than those used when the qualified condition was established. This puts a high demand on the specification of the condition monitoring methods used and the documentation and repeatability of the measurements. It is important that quite small changes in the value of the condition indicator can be detected. This requires a high degree of accuracy in the condition monitoring method.

7.5 Use of baseline data

Condition monitoring can be useful for evaluating the limits of degradation, below which the functionality in service conditions and simulated design basis events is generally known not to be significantly affected.

The general usefulness of available data on values of condition indicators, for which operability in simulated design basis events has been demonstrated, depends on the repeatability and accuracy of the methods used and how well the condition monitoring has been defined and reported.

Bibliography

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

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

IEC 62342, *Nuclear power plants – Instrumentation and control systems important to safety – Management of ageing*

IEEE Std 1205, *IEEE Guide for Assessing, Monitoring, and Mitigating Aging Effects on Class 1E Equipment Used in Nuclear Power Generating Stations*

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*

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

NUREG/CR-7000, *Essential Elements of an Electric Cable Condition Monitoring Program*

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*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	17
INTRODUCTION.....	19
1 Domaine d'application et objet.....	21
2 Références normatives.....	21
3 Termes et définitions	21
4 Indicateurs d'état.....	23
4.1 Généralités.....	23
4.2 Indicateurs chimiques.....	23
4.3 Indicateurs physiques.....	23
4.4 Indicateurs électriques	23
4.5 Indicateurs divers	24
5 Possibilités d'utiliser les indicateurs d'état pour différents types de matériaux organiques	24
6 Surveillance d'état destructive et non destructive	24
7 Utilisation de la surveillance d'état dans le cadre de la qualification des équipements et de la gestion du vieillissement	24
7.1 Général	24
7.2 Utilisation de la surveillance d'état pour déterminer la durée de vie certifiée	25
7.2.1 Détermination de la durée de vie certifiée.....	25
7.2.2 Détermination du facteur d'accélération en vieillissement thermique accéléré	25
7.3 Utilisation de la surveillance d'état pour l'extension de la durée de vie certifiée	27
7.4 Utilisation de la surveillance d'état pour la détermination et l'évaluation de l'état qualifié.....	27
7.5 Utilisation de données de base.....	28
Bibliographie.....	29
Figure 1 – Exemple de diagramme d'Arrhenius	26
Figure 2 – Influence de l'énergie d'activation sur la durée de vie certifiée, déterminée après une phase de vieillissement thermique artificiel de 42 jours à 110 °C, suivie de la simulation d'un évènement de dimensionnement.....	26
Figure 3 – Illustration de la qualification basée sur la surveillance d'état.....	28

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 1: Généralités

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, soumis à l'approbation de l'Institut national américain de normalisation, 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. Cette norme internationale double logo a été élaborée conjointement par la CEI et l'IEEE, conformément aux dispositions de cet accord.

- 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 62582-1 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 entre la CEI et l'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/840/FDIS	45A/849/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/62582-1/62582-1-2011/62582-1-2011_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 surveillance de l'état des matériels électriques installés dans les centrales nucléaires et à l'application du concept d'état qualifié.

Cette partie est la première partie de la série CEI/IEEE 62582 et elle contient les informations de base et les recommandations pertinentes pour l'utilisation des méthodes de surveillance des matériels électriques importants pour la sûreté des centrales nucléaires de puissance. Les descriptions détaillées des méthodes particulières sont fournies dans les autres normes de la série, chacune étant dédiée à une méthode. La présente norme comprend aussi certains éléments qui sont communs à toutes les méthodes.

La norme 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.

La surveillance de l'état des matériels est un domaine en développement et des méthodes supplémentaires seront ajoutées à la CEI/IEEE 62582, lorsque ces méthodes de surveillance seront considérées comme largement utilisées et que la reproductibilité de celles-ci pourra être démontrée.

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 est d'être utilisée par 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 1 de la norme CEI/IEEE 62582 est le document du SC 45A de la CEI de troisième niveau qui traite du problème de l'application de la surveillance de l'état des matériels dans le cadre de la qualification des matériels et de la gestion du vieillissement des matériels électriques d'I&C utilisés dans les centrales nucléaires de puissance.

La partie 1 de la norme CEI/IEEE 62582 doit être lue avec la CEI 60780 et l'IEEE 323, qui fournissent les exigences générales applicables pour la qualification des matériels et systèmes d'I&C qui sont utilisés pour réaliser les fonctions importantes pour la sûreté dans les centrales nucléaires de puissance ainsi que dans les installations nucléaires.

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.

La présente norme traite en général de technique de mesure pour la surveillance de l'état courant et n'a pas pour objectif de traiter de techniques particulières.

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 et de sûreté global, un cycle de vie et de sûreté des systèmes, et une interprétation des exigences générales des CEI 61508-1, CEI 61508-2 et CEI 61508-4 pour le secteur nucléaire. La conformité à la CEI 61513 facilite la compatibilité avec les exigences de la CEI 61508 telles qu'elles ont été interprétées dans l'industrie nucléaire. Dans ce cadre, la CEI 60880 et la CEI 62138 correspondent à la CEI 61508-3 pour le secteur nucléaire.

La CEI 61513 fait référence aux normes ISO ainsi qu'au document AIEA 50-C-QA (remplacé depuis par le document AIEA GS-R-3) 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.

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

Partie 1: Généralités

1 Domaine d'application et objet

La présente partie de la CEI/IEEE 62582 contient des exigences concernant l'application des autres parties de la CEI/IEEE 62582 correspondant aux méthodes de surveillance de l'état des matériels électriques importants pour la sûreté des centrales nucléaires de puissance. Elle contient aussi des exigences qui sont communes à toutes les méthodes.

La CEI/IEEE 62582 spécifie suffisamment en détail les méthodes de surveillance de l'état des matériels pour en améliorer la précision, en garantir le caractère reproductible, et elle indique les formats normalisés à utiliser pour rendre compte des résultats. Les méthodes spécifiées sont applicables aux matériels électriques qui contiennent des matériaux organiques ou des polymères. Certaines méthodes ont été conçues spécifiquement pour l'évaluation de l'état d'une gamme de matériels limitée alors que d'autres peuvent être appliquées à tous les types de matériels pour lesquels les parties organiques constitutives sont accessibles.

Bien que le domaine de la CEI/IEEE 62582 soit limité à l'application de celles-ci aux systèmes d'instrumentation et de contrôle commande importants pour la sûreté, ces méthodes de surveillance de l'état des matériels peuvent être appliquées à d'autres composants qui comprennent des matériaux organiques ou des polymères.

Les parties de la CEI/IEEE 62582 sont des normes de mesure, principalement utilisables pour la gestion du vieillissement s'inscrivant dans le cadre de la qualification initiale et après installation. Concernant le contexte technique associé aux méthodes de surveillance de l'état des matériels, il est fait référence à d'autres normes CEI, telles que la CEI 60544-5. Des informations concernant le rôle de la surveillance de l'état des matériels dans le cadre de la qualification des matériels importants pour la sûreté sont fournies dans l'IEEE 323. Des informations à caractère général sur la gestion du vieillissement peuvent être trouvées dans la CEI 62342 et dans l'IEEE 1205.

NOTE Les procédures définies dans la série CEI/IEEE 62582 ont pour objectif la surveillance fine de l'état des matériels. Une version simplifiée des procédures peut être appropriée pour une évaluation préliminaire du besoin d'une telle évaluation fine.

2 Références normatives

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

IEEE Std 323:2003, *IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations* (disponible en anglais uniquement)

3 Termes et définitions

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

3.1

indicateur d'état

caractéristique d'une structure, d'un système ou d'un composant qui peut être observée, mesurée ou dont on peut suivre l'évolution pour déduire ou directement indiquer la capacité présente et future de la structure, du système ou du composant de fonctionner conformément aux critères d'acceptation

[Glossaire de sûreté de l'AIEA, édition 2007]

3.2

surveillance de l'état

tests, inspections, mesures ou suivis de l'évolution de la performance ou des caractéristiques physiques des structures, systèmes et des composants, de façon continue ou périodique, visant à indiquer la performance actuelle et future et le risque de défaillance

[Glossaire de sûreté de l'AIEA, édition 2007]

3.3

qualification d'équipement

production et conservation des preuves que l'équipement fonctionnera sur commande, dans les conditions de service spécifiées, pour répondre aux impératifs de performance du système

[Glossaire de sûreté de l'AIEA, édition 2007]

3.4

constituant important pour la sûreté

constituant faisant partie d'un groupe de sûreté et/ou dont le mauvais fonctionnement ou la défaillance pourrait entraîner une exposition à des rayonnements du personnel du site ou de personnes du public

[Glossaire de sûreté de l'AIEA, édition 2007]

3.5

état qualifié

état d'un matériel, précédant le début de l'évènement de dimensionnement, pour lequel il a été montré que l'équipement satisfaisait aux exigences de conception pour les conditions de service spécifiées

3.6

durée de vie certifiée

période pour laquelle il a été démontré, par des essais, l'analyse ou l'expérience qu'une structure, un système ou un composant est capable de fonctionner dans les limites des critères d'acceptation dans des conditions de fonctionnement spécifiques tout en restant à même de remplir ses fonctions de sûreté en cas d'accident de dimensionnement ou de séisme

[Glossaire de sûreté de l'AIEA, édition 2007]

3.7

durée de vie utile

période qui va de la mise en exploitation initiale d'une structure, d'un système ou d'un composant à sa réforme

[Glossaire de sûreté de l'AIEA, édition 2007]

4 Indicateurs d'état

4.1 Généralités

Il convient de ne faire de la surveillance d'état que si une relation entre la dégradation liée au vieillissement du composant surveillé et la dégradation des fonctions de sûreté associées à l'équipement est connue. Il convient d'établir cette relation durant la qualification de l'équipement. Il convient que la relation tienne compte de tout effet de diffusion de débits limités qui pourraient survenir durant le vieillissement accéléré associé à des facteurs d'accélération élevés.

Les programmes de surveillance d'état reposent sur des indicateurs mesurables qui fournissent une évaluation de la dégradation d'ensemble des matériaux. Pour réaliser les mesures d'évaluation de l'état du composant vieilli naturellement, on doit, ou bien prélever des échantillons de façon destructive, ou bien faire des mesures sur le matériau sur le terrain d'une façon non destructive. Les méthodes du dernier type sont préférées, car celles-ci permettent d'étudier les matériaux sans interrompre l'exploitation; cependant, il est souvent difficile de réaliser ce type de mesure directement sur le terrain avec un niveau de reproductibilité et de précision suffisant.

Pour les matériaux organiques, le vieillissement survenant peut avoir un impact négatif sur les fonctions importantes pour la sûreté du fait de différentes réactions chimiques, celles-ci comprennent les ruptures de chaînes et les réassociations qui dégradent la structure des polymères. Concernant les programmes de surveillance d'état, il devient impératif de trouver des méthodes qui, directement ou indirectement, permettent de suivre la progression de ces réactions. Un grand nombre de méthodes existent pour réaliser cette tâche, et cela rend difficile la possibilité de fournir une description d'ensemble de chaque technique individuelle. A la place, cette norme va s'intéresser aux principaux groupes de méthodes. La description d'ensemble de ces groupes est fournie ci-dessous.

4.2 Indicateurs chimiques

Comme mentionné ci-dessus, les mécanismes de dégradation des matériaux organiques sont la conséquence d'une série de réactions chimiques au cours desquelles la structure chimique des polymères est altérée. L'évolution progressive des caractéristiques chimiques des matériaux offre la possibilité de surveiller la dégradation de ceux-ci lors de leurs vieillissements. De nombreuses techniques existent pour réaliser cette tâche, certaines permettent la surveillance de la dégradation des chaînes des polymères, d'autres permettent de surveiller des réactions annexes liées à cette dégradation.

4.3 Indicateurs physiques

Une autre famille clef d'indicateurs correspond aux techniques qui surveillent les propriétés physiques des matériaux. La dégradation des matériaux organiques se manifeste au travers des modifications de ces propriétés physiques (par exemple: les forces de tension, l'élongation et la dureté). En mesurant ces caractéristiques physiques, il est possible d'établir une corrélation avec l'état de vieillissement des matériaux.

4.4 Indicateurs électriques

Une troisième catégorie de techniques correspond à la mesure des propriétés électriques des matériaux. Beaucoup de ces techniques ont été développées pour les matériaux polymères utilisés comme isolant électrique. Dans cette famille on trouve deux sous-ensembles de méthodes. Le premier sous-ensemble comprend les mesures des propriétés diélectriques.

Le second sous-ensemble de méthodes permet de surveiller la réponse électrique des systèmes en exploitation. Dans ces cas, un signal est envoyé dans le système électrique et tous les écarts par rapport au signal de base sont détectés. Ces écarts peuvent être le signe de dégradation, dus au vieillissement ou à un endommagement physique.

4.5 Indicateurs divers

Comme de nouvelles technologies sont développées et mises en oeuvre, il devient nécessaire de développer des méthodes de surveillance de l'état pour rester en phase avec l'état de l'art. Ainsi, certaines méthodes sont développées spécifiquement pour certains types de matériaux.

5 Possibilités d'utiliser les indicateurs d'état pour différents types de matériaux organiques

Il n'existe pas une méthode de surveillance qui soit adaptée pour tous les matériaux organiques et tous les polymères. Une des exigences de base pour qu'une méthode puisse être couverte par une partie de la CEI/IEEE 62582, est que les indicateurs d'état associés soient sensibles aux effets du vieillissement. Une caractéristique importante de l'utilité d'un indicateur d'état est qu'il présente des tendances d'évolution monotone par rapport aux dégradations et qu'il existe une corrélation avec les performances associées à la sûreté. Un indicateur qui est invariant très longtemps et qui soudainement présente des variations importantes n'est d'aucune utilité pour les applications devant permettre d'établir un pronostique. Ceci peut être le cas de la surveillance de l'état mécanique exercée pour des matériaux semi cristallins, par exemple: le polyéthylène réticulé et les résines thermoplastiques, en fonction de leurs compositions.

Des informations sur le caractère applicable des différents indicateurs d'état pour les différents matériaux polymères utilisés au niveau de l'instrumentation et du contrôle commande des centrales nucléaires de puissance sont disponibles dans les documents NUREG/CR-7000 et IAEA-TECDOC-1188, voir la Bibliographie.

6 Surveillance d'état destructive et non destructive

Une méthode de surveillance d'état est considérée comme destructive ou non destructive suivant que les mesures ou l'échantillonnage des matériaux utilisés pour les mesures ont un impact sur l'opérabilité ou le vieillissement futur. L'utilisation de surveillance d'état non destructive comme des mesures sur le terrain est préférable, mais considérant les méthodes actuellement disponibles celles-ci se limitent à quelques types d'équipement, principalement les câbles, pour lesquels les constituants de l'équipement pertinents pour la mesure sont accessibles sur le terrain. Dans les autres cas, des échantillons en dépôt à des fins d'essai ou des échantillons qui peuvent être remplacés sont nécessaires pour réaliser la surveillance d'état.

Lorsque des échantillons provenant d'un dépôt sont disponibles ou lorsque des composants peuvent être remplacés, une gamme plus large de méthodes peut être utilisée, y compris des méthodes destructives. Dans ce cas la surveillance d'état peut s'appliquer à tous les types d'équipements pour lesquels on peut avoir accès aux matériaux vieillis – normalement organiques utilisés pour l'isolement électrique, l'étanchéité, etc.

7 Utilisation de la surveillance d'état dans le cadre de la qualification des équipements et de la gestion du vieillissement

7.1 Général

La surveillance d'état considérée comme faisant partie de la qualification et de la gestion du vieillissement des équipements électriques des centrales nucléaires de puissance peut avoir pour but l'atteinte d'un ou de plusieurs des objectifs de la liste suivante:

- détermination des facteurs d'accélération pour évaluer la durée de vie certifiée à partir du vieillissement artificiel en laboratoire;
- extension de la durée de vie certifiée;
- déclaration de l'état qualifié;

- évaluation périodique de l'état de l'équipement après installation pour comparaison avec l'état qualifié.

La surveillance d'état peut être aussi utilisée pour déterminer si la dégradation des matériaux sensibles au vieillissement excède des limites spécifiées. Ces limites sont celles pour lesquelles il a été établi que les effets sur l'exploitation dans des conditions de service spécifiées et pour des événements de dimensionnement sont négligeables.

7.2 Utilisation de la surveillance d'état pour déterminer la durée de vie certifiée

7.2.1 Détermination de la durée de vie certifiée

La durée de vie certifiée d'un équipement est généralement déterminée par vieillissement accéléré d'échantillons en laboratoire, suivi de la vérification de leur aptitude à fonctionner par rapport à des critères d'acceptation en présence d'événements de dimensionnement simulés. Le facteur d'accélération est le rapport entre le taux de dégradation observé lors de la simulation en laboratoire et celui observé en fonctionnement normal sur le terrain. La surveillance d'état est utilisée pour déterminer les énergies d'activation employées pour les calculs de facteurs d'accélération du vieillissement thermique accéléré.

7.2.2 Détermination du facteur d'accélération en vieillissement thermique accéléré

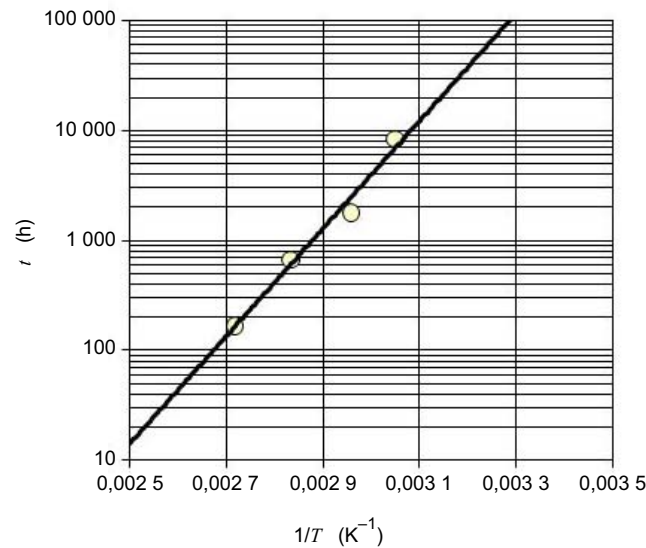
Le facteur d'accélération F du vieillissement thermique accéléré est normalement calculé en utilisant l'équation d'Arrhenius suivante:

$$F = \frac{t_1}{t_2} = e^{-\frac{E}{k} \left[\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right]} \quad (1)$$

Où t_1 et t_2 sont les instants correspondant à l'atteinte d'un certain niveau de dégradation à des températures T_1 et T_2 (en kelvins); E est l'énergie d'activation et k est la constante de Boltzmann.

NOTE L'équation d'Arrhenius $r = Ae^{-E/kT}$ est une formule traduisant le lien de dépendance entre la température et le taux de la réaction chimique r . A est un pré facteur (dans le cas de relations du premier ordre appelé facteur de fréquence exprimé en s^{-1}), E est l'énergie d'activation (exprimée en eV), k est la constante de Boltzmann ($0,8617 \cdot 10^{-4}$ eV $\cdot$ K $^{-1}$) et T est la température (exprimée en K). L'énergie d'activation est définie comme l'énergie qui doit être dépassée pour que la réaction chimique survienne.

L'énergie d'activation d'un matériau est normalement calculée à partir des résultats de mesure des indicateurs d'état en fonction du temps et à différents niveaux de température. Les couples de valeurs de températures et le temps nécessaire pour atteindre un certain niveau de dégradation sont tracés sur un diagramme d'Arrhenius, où la fonction inverse des températures exprimées en K est tracée par rapport à une échelle linéaire en abscisse et où le temps t est tracé suivant une échelle logarithmique en ordonnée. La Figure 1 en est un exemple.

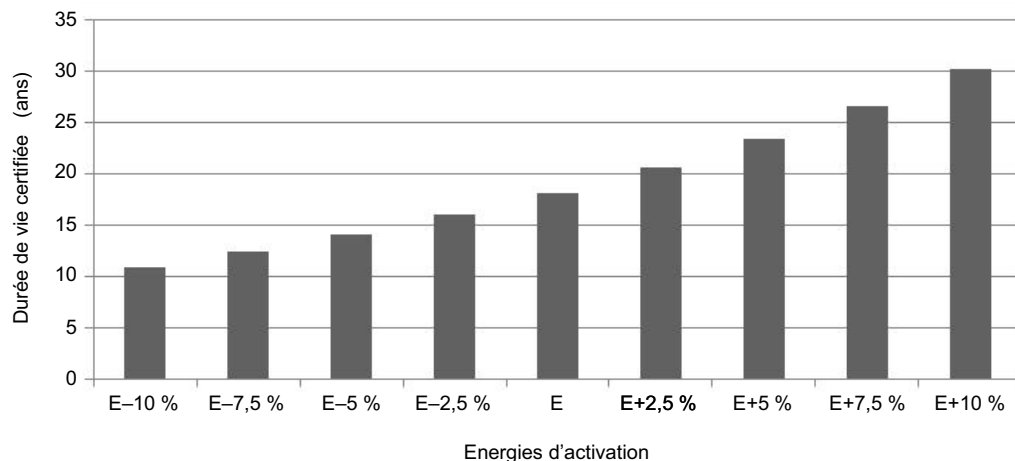


IEC 1958/11

Figure 1 – Exemple de diagramme d'Arrhenius

Une ligne droite reliant les points indique qu'il y a une dépendance de type Arrhenius entre le niveau de dégradation et la température. L'énergie d'activation E exprimée en eV est calculée à partir de la pente de la droite.

Le facteur d'accélération et, en conséquence la durée de vie certifiée, sont sensibles à la valeur de l'énergie d'activation. L'imprécision dans la détermination de l'énergie d'activation a un impact très important sur le calcul du facteur d'accélération et en conséquence sur la détermination de la durée de vie certifiée reposant sur des tests qui comprennent une phase de vieillissement thermique accéléré artificiel. Ceci est illustré par la Figure 2.



IEC 1959/11

NOTE La température de fonctionnement en service normal étant de 50 °C. $E=0,9$ eV.

Figure 2 – Influence de l'énergie d'activation sur la durée de vie certifiée, déterminée après une phase de vieillissement thermique artificiel de 42 jours à 110 °C, suivie de la simulation d'un évènement de dimensionnement

La grande précision nécessaire pour les méthodes de surveillance d'état utilisées pour la mesure de la détermination des énergies d'activation, ainsi que la nécessité qu'elles soient reproductibles, sont illustrées par l'exemple.

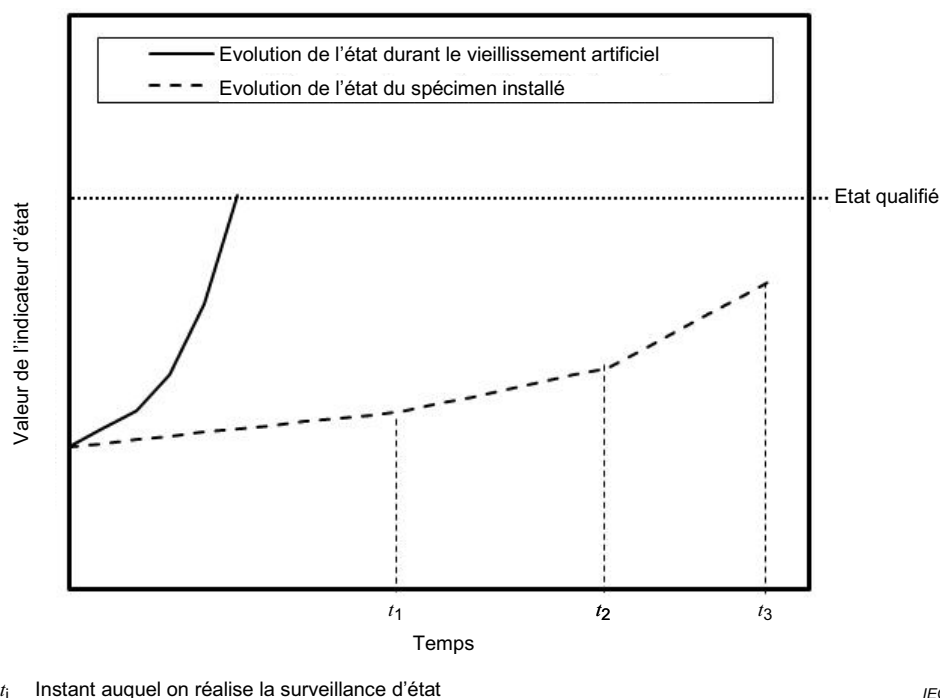
7.3 Utilisation de la surveillance d'état pour l'extension de la durée de vie certifiée

Des marges importantes sont normalement prises pour établir la durée de vie certifiée lors des tests de la qualification initiale. Ces marges prennent en compte les incertitudes relatives à la prédiction des conditions environnementales qui prévalent sur le terrain, les incertitudes portant sur les facteurs d'accélération utilisés pour déterminer la durée de vie certifiée à partir du vieillissement simulé en laboratoire, les incertitudes relatives à la démonstration du caractère satisfaisant du fonctionnement de l'équipement, les écart normaux dus à une production commerciale des équipements et les incertitudes liées aux équipements de test et de mesure. Du fait des marges prises et de la limite de temps disponible pour les essais, mais aussi de l'utilisation de facteurs d'accélération modestes pour réaliser la simulation de vieillissement en laboratoire, la qualification initiale peut amener à fixer une durée de vie certifiée qui peut être fort différente de la durée en service que l'on peut avoir avant qu'un événement de dimensionnement ne survienne. Les méthodes d'extension de la durée de vie certifiée comprennent habituellement la surveillance d'état d'échantillons représentatifs de l'équipement installé.

7.4 Utilisation de la surveillance d'état pour la détermination et l'évaluation de l'état qualifié

La qualification basée sur la surveillance d'état apparaît dans l'IEEE 323-2003 comme une solution alternative ou un complément pour l'évaluation de la durée de vie certifiée.

La qualification basée sur la surveillance d'état repose sur la détermination de valeurs appropriées représentant les indicateurs d'état en fin de vieillissement avant un essai simulant un événement de dimensionnement. Ces valeurs représentent l'état qualifié. Les avantages tirés de l'utilisation d'une qualification basée sur la surveillance d'état, comme solution complémentaire ou alternative pour la détermination de la durée de vie certifiée sont considérablement plus importants si les tendances (variations en fonction du temps) des valeurs des indicateurs d'état sont déterminées au cours du vieillissement, par exemple en réalisant un vieillissement artificiel incrémental et en mesurant les valeurs des indicateurs d'état à chaque incrément. Après installation, des mesures d'état identiques sont réalisées périodiquement sur des échantillons représentatifs et comparées avec l'état qualifié. Ce principe est illustré par la Figure 3.



t_i Instant auquel on réalise la surveillance d'état

IEC 1960/11

Figure 3 – Illustration de la qualification basée sur la surveillance d'état

L'établissement de l'état qualifié peut faire partie des tests de la qualification initiale. Si la qualification initiale a été réalisée avec comme seul objectif l'évaluation de la durée de vie certifiée et qu'il n'a pas été prévu de surveillance d'état, il peut être possible d'établir l'état qualifié a posteriori sans répéter les essais liés aux événements de dimensionnement. Si des échantillons identiques de l'équipement, neufs ou stockés dans des conditions environnementales contrôlées, sont disponibles, l'état qualifié peut être établi en répétant l'approche liée au vieillissement utilisée pour les essais de qualification initiale et en déterminant les valeurs des indicateurs d'état appropriés (pendant et) à la fin de cette phase de vieillissement.

Les mesures à réaliser après installation peuvent être faites par du personnel, avec de l'instrumentation et dans d'autres laboratoires que ceux utilisés pour l'établissement de l'état qualifié. Ceci impose des exigences élevées au niveau de la spécification des méthodes de surveillance d'état, de la documentation associée et du caractère reproductible des mesures. Il est important que des petites variations des valeurs des indicateurs d'état puissent être détectées. Ceci impose un niveau de précision élevée pour les méthodes de surveillance d'état.

7.5 Utilisation de données de base

La surveillance d'état peut être utilisée pour évaluer les limites de dégradation, en dessous desquelles la fonctionnalité, en condition de service et pour les événements de dimensionnement simulés, est généralement connue pour ne pas être significativement perturbée.

L'utilité au sens général de données disponibles concernant les valeurs des indicateurs d'état, pour lesquelles le caractère opérationnel de l'équipement pour des événements de dimensionnement simulés a été démontré, repose sur le caractère reproductible et la précision des méthodes utilisées ainsi que sur le niveau de qualité de définition de la surveillance et les comptes-rendus associés.

Bibliographie

CEI 60544-5, *Matériaux isolants – 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 62342, *Centrales nucléaires de puissance – Systèmes d'instrumentation et de contrôle-commande importants pour la sûreté – Gestion du vieillissement*

IEEE Std 1205, *IEEE Guide for Assessing, Monitoring, and Mitigating Aging Effects on Class 1E Equipment Used in Nuclear Power Generating Stations*

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*

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

NUREG/CR-7000, *Essential Elements of an Electric Cable Condition Monitoring Program*

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

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