

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**60544-5**

Première édition  
First edition  
2003-02

---

---

**Matériaux isolants –  
Détermination des effets des  
rayonnements ionisants –**

**Partie 5:  
Procédures pour l'estimation  
du vieillissement en service**

**Electrical insulating materials –  
Determination of the effects of  
ionizing radiation –**

**Part 5:  
Procedures for assessment  
of ageing in service**

© IEC 2003 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland  
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: [inmail@iec.ch](mailto:inmail@iec.ch) Web: [www.iec.ch](http://www.iec.ch)



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE

**V**

*Pour prix, voir catalogue en vigueur  
For price, see current catalogue*

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS .....	6
INTRODUCTION .....	10
1 Domaine d'application et objet .....	12
2 Références normatives .....	12
3 Abréviations .....	12
4 Contexte .....	14
4.1 Oxydation limitée par diffusion (DLO) .....	14
4.2 Effets de débit de dose (DRE) .....	16
4.3 Vieillissement accéléré .....	16
4.4 Approches pour l'évaluation du vieillissement .....	18
5 Techniques de contrôle des conditions .....	18
5.1 Introduction .....	18
5.2 Etablissement des courbes de corrélation pour les méthodes CM .....	20
5.3 «Indenter» .....	22
5.4 Temps d'induction de l'oxydation (OIT) .....	24
5.5 Température d'induction à l'oxydation (OITP) .....	28
5.6 Analyse thermogravimétrique (TGA) .....	30
5.7 Mesures de la densité .....	34
6 Dépôt d'équipements .....	38
6.1 Prescription d'un dépôt .....	40
6.2 Installation d'un dépôt d'équipement .....	40
6.3 Essais des échantillons provenant du dépôt .....	42
6.4 Détermination des intervalles d'échantillonnage .....	42
6.5 Equipements vieillis en temps réel et expérience de fonctionnement .....	44
 Bibliographie .....	 62
 Figure 1 – Développement des données de vieillissement sur des modifications d'allongement à la rupture et indicateur de condition (par exemple, module «indenter») – Courbe .....	 48
Figure 2 – Courbe de corrélation dérivée des données de la Figure 1 – Courbe .....	50
Figure 3 – Courbe de corrélation pour module «indenter» par rapport à l'allongement à la rupture pour un matériau de gaine de câble CSPE [7] .....	50
Figure 4 – Force type – Courbe de déplacement à partir des mesures «indenter», présentant la définition du module «indenter» .....	52
Figure 5 – Forme type de thermogramme d'un essai OIT, présentant une ligne de base et une détermination d'oxydation commençante (méthode B) – Courbe .....	52
Figure 6 – Forme de thermogramme d'un essai OIT sans ligne de base bien définie – Courbe .....	54
Figure 7 – Forme de thermogramme d'un essai OIT avec débuts multiples – Courbe .....	54
Figure 8 – Forme de thermogramme à partir d'un essai type OITP sur un matériau semi-cristallin (par exemple, XLPE) – Courbe .....	56
Figure 9 – Forme du tracé de données d'essai d'un essai type TGA – Courbe .....	56
Figure 10 – Exemple de courbe de corrélation pour données TGA par rapport à l'allongement à la rupture, pour un matériau de gaine en PVC [7] .....	58

## CONTENTS

FOREWORD .....	7
INTRODUCTION .....	11
1 Scope and object .....	13
2 Normative references.....	13
3 Abbreviations.....	13
4 Background .....	15
4.1 Diffusion limited oxidation (DLO) .....	15
4.2 Dose rate effects (DRE).....	17
4.3 Accelerated ageing .....	17
4.4 Approaches to ageing assessment.....	19
5 Condition monitoring techniques .....	19
5.1 Introduction .....	19
5.2 Establishment of correlation curves for CM methods.....	21
5.3 Indenter .....	23
5.4 Oxidation induction time (OIT) .....	25
5.5 Oxidation induction temperature (OITP).....	29
5.6 Thermogravimetric analysis (TGA).....	31
5.7 Density measurements .....	35
6 Equipment deposit .....	39
6.1 Requirements of a deposit .....	41
6.2 Installation of an equipment deposit.....	41
6.3 Testing of samples from the deposit .....	43
6.4 Determination of sampling intervals .....	43
6.5 Real-time aged equipment and operating experience.....	45
Bibliography.....	63
Figure 1 – Development of ageing data on changes in tensile elongation and a condition indicator (for example, indenter modulus) – Schematic.....	49
Figure 2 – Correlation curve derived from data in Figure 1 – Schematic.....	51
Figure 3 – Correlation curve for indenter modulus against tensile elongation for a CSPE cable jacket material [7] .....	51
Figure 4 – Typical force – Displacement curve from indenter measurements, showing definition of indenter modulus .....	53
Figure 5 – Typical shape of thermogram from an OIT test, showing baseline and onset determination (method B) – Schematic.....	53
Figure 6 – Shape of thermogram from an OIT test with no well-defined baseline – Schematic .....	55
Figure 7 – Shape of thermogram from an OIT test with multiple onsets – Schematic. ....	55
Figure 8 – Shape of thermogram from a typical OITP test on a semi-crystalline material (for example, XLPE) – Schematic.....	57
Figure 9 – Shape of test data plot from a typical TGA test – Schematic.....	57
Figure 10 – Example of correlation curve for TGA data against tensile elongation, for a PVC sheath material [7] .....	59

Figure 11 – Effet de température inverse pendant le vieillissement sous rayonnement du matériau d'isolation de câble XLPE pendant le vieillissement sous rayonnement à température élevée [20] .....58

Figure 12 – Détermination des temps d'attente pour une consignation de câble – Courbe [21] .....60

Tableau 1 – Valeurs de paramètres d'essai recommandées pour mesures «indenter».....46

Tableau 2 – Températures d'essai recommandées pour mesures OIT .....46

Figure 11 – Reverse temperature effect during radiation ageing of XLPE cable insulation material during radiation ageing at elevated temperature [20].....59

Figure 12 – Determination of lead times for a cable deposit – Schematic [21] .....61

Table 1 – Recommended test parameter values for indenter measurements .....47

Table 2 – Recommended test temperatures for OIT measurements.....47

# COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

## MATÉRIAUX ISOLANTS – DÉTERMINATION DES EFFETS DES RAYONNEMENTS IONISANTS –

### Partie 5: Procédures pour l'estimation du vieillissement en service

#### AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) 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. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60544-5 a été établie par le sous-comité 15E: Méthodes d'essai, du comité d'études 15 de la CEI: Matériaux isolants.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
15E/210/FDIS	15E/214/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.

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

La CEI 60544 comprend les parties suivantes, regroupées sous le titre général *Matériaux isolants électriques – Détermination des effets des rayonnements ionisants*:

Partie 1: Interaction des rayonnements et dosimétrie

Partie 2: Méthodes d'irradiation et d'essai

Partie 3: (maintenant intégrée dans la Partie 2)

Partie 4: Système de classification pour l'utilisation dans un environnement sous rayonnement

Partie 5: Procédures pour l'estimation du vieillissement en service

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

---

**ELECTRICAL INSULATING MATERIALS –  
DETERMINATION OF THE EFFECTS OF IONIZING RADIATION –**
**Part 5: Procedures for assessment of ageing in service**

## FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the 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, the IEC publishes International Standards. 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. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the 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 National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60544-5 has been prepared by subcommittee 15E: Methods of test, of IEC technical committee 15: Insulating materials.

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

FDIS	Report on voting
15E/210/FDIS	15E/214/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.

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

IEC 60544 consists of the following parts, under the general title *Electrical insulating materials – Determination of the effects of ionizing radiation*:

Part 1: Radiation interaction and dosimetry

Part 2: Procedures for irradiation and test

Part 3: (now incorporated into Part 2)

Part 4: Classification system for service in radiation environments

Part 5: Procedures for assessment of ageing in service

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2008. A cette date, la publication sera

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

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2008. At this date, the publication will be

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

## INTRODUCTION

Les matériaux organiques représentent une proportion significative des isolations utilisées dans des systèmes électriques. Ces matériaux sont sensibles aux effets d'irradiation et la réponse varie beaucoup entre différents types. Par conséquent, il importe d'être en mesure d'évaluer le degré de dégradation de ces matériaux isolants pendant leur durée de vie en service. La présente partie de la CEI 60544 fournit des procédures recommandées pour le contrôle du vieillissement des matériaux isolants en service.

Il existe un certain nombre d'approches pour l'évaluation du vieillissement de composants à base de polymère exposés aux environnements sous rayonnement [1], [2]<sup>1</sup>. Elles sont fondées sur une meilleure compréhension des facteurs affectant la dégradation liée au vieillissement qui s'est développée au cours de ces 15 dernières années. Dans une installation nucléaire, des programmes de qualification sont en règle générale utilisés pour la sélection des composants, y compris ceux à base de matériaux polymères. Ces procédures de qualification initiales, telles que IEEE-323 [3], ont été rédigées avant que l'on ait bien cerné la notion de vieillissement. La plupart des méthodes examinées dans ce document sont, de ce fait, utilisées pour aborder les limites du processus initial de qualification.

La présente partie est la cinquième d'une série traitant de l'effet du rayonnement ionisant sur les matériaux isolants.

La Partie 1 (Interaction des rayonnements) constitue une introduction traitant très largement des problèmes liés à l'évaluation des effets de rayonnement. Elle fournit également un guide pour la terminologie de la dosimétrie, plusieurs méthodes de détermination de l'exposition et de dose absorbée, et des méthodes de calcul de dose absorbée dans tout matériau spécifique à partir de la méthode de dosimétrie appliquée.

La Partie 2 (Méthodes d'irradiation et d'essai) décrit des méthodes pour le maintien de sept différents types de conditions d'exposition pendant l'irradiation. Elle spécifie également les contrôles qui doivent être maintenus sur ces conditions de telle manière que lorsque les résultats d'essai sont présentés dans un rapport, des comparaisons fiables de performance de matériaux puissent être établies. Elle définit également certaines conditions importantes d'irradiation et des méthodes d'essai à utiliser en vue de déterminations de changement de propriétés et des critères correspondants de point limite.

La Partie 3 a été incorporée dans la Partie 2.

La Partie 4 (Système de classification pour l'utilisation dans un environnement sous rayonnement) fournit un système de classification recommandé pour établir des catégories de tenue au rayonnement des matériaux d'isolation.

---

<sup>1</sup> Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

## INTRODUCTION

Organic materials provide a significant proportion of insulations used in electrical systems. These materials are sensitive to the effects of irradiation and the response varies widely between different types. It is therefore important to be able to assess the degree of degradation of these insulating materials during their service lifetimes. This part of IEC 60544 provides recommended procedures for monitoring ageing of insulating materials in service.

There are a number of approaches to the assessment of ageing of polymer-based components exposed to radiation environments [1], [2]<sup>1</sup>. These are based on better understanding of the factors affecting ageing degradation which has been developed over the last 15 years. In a nuclear power plant, qualification programmes are normally used for selection of components, including those based on polymeric materials. These initial qualification procedures, such as IEEE-323 [3], were written before ageing was well understood. Most of the methods discussed in this document are therefore used to address the limitations of the initial qualification process.

This part is the fifth in a series dealing with the effect of ionizing radiation on insulating materials.

Part 1 (Radiation interaction) constitutes an introduction dealing very broadly with the problems involved in evaluating radiation effects. It also gives a guide to dosimetry terminology, several methods of determining exposure and absorbed dose, and methods of calculating absorbed dose in any specific material from the dosimetry method applied.

Part 2 (Procedures for irradiation and test) describes procedures for maintaining seven different types of exposure conditions during irradiation. It also specifies the controls that shall be maintained over these conditions so that when test results are reported, reliable comparisons of material performance can be made. It also defines certain important irradiation conditions and test procedures to be used for property change determinations and corresponding end-point criteria.

Part 3 has been incorporated into Part 2.

Part 4 (Classification system for service in radiation environments) provides a recommended classification system for categorizing the radiation endurance of insulation materials.

---

<sup>1</sup> Figures in square brackets refer to the bibliography.

## **MATÉRIAUX ISOLANTS – DÉTERMINATION DES EFFETS DES RAYONNEMENTS IONISANTS –**

### **Partie 5: Procédures pour l'estimation du vieillissement en service**

#### **1 Domaine d'application et objet**

La présente partie de la CEI 60544 couvre les méthodes d'évaluation du vieillissement pouvant être appliquées aux composants à base de matériaux polymères (par exemple, des gaines et isolations de câble, des joints en élastomère, des revêtements polymères, des gaines) qui sont utilisés dans des environnements où ils sont exposés aux rayonnements.

L'objet de la présente partie de la CEI 60544 est de fournir des lignes directrices sur l'évaluation du vieillissement en service. Les approches examinées couvrent les programmes d'évaluation de vieillissement fondés sur le contrôle des conditions (CM), l'utilisation de dépôt d'équipements dans des environnements sévères et l'échantillonnage de composants vieilliss en temps réel.

#### **2 Références normatives**

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

CEI 60544-1:1994, *Matériaux isolants – Détermination des effets des rayonnements isolants – Partie 1: Interaction des rayonnements et dosimétrie*

CEI 60544-2:1991, *Matériaux isolants – Détermination des effets des rayonnements isolants – Partie 2: Méthodes d'irradiation et d'essais*

CEI/TR2 61244-1:1993, *Détermination du vieillissement à long terme sous rayonnement dans les polymères – Techniques pour contrôler l'oxydation limitée par diffusion*

CEI/TR2 61244-2:1996, *Détermination du vieillissement à long terme sous rayonnement dans les polymères – Partie 2: Méthodes pour prédire le vieillissement à faible débit de dose*

CEI/TR2 61244-3:1998, *Vieillissement à long terme sous rayonnements dans les polymères – Partie 3: Procédés pour le contrôle en service des matériaux des câbles basse tension*

# ELECTRICAL INSULATING MATERIALS – DETERMINATION OF THE EFFECTS OF IONIZING RADIATION –

## Part 5: Procedures for assessment of ageing in service

### 1 Scope and object

This part of IEC 60544 covers ageing assessment methods which can be applied to components based on polymeric materials (for example, cable insulation and jackets, elastomeric seals, polymeric coatings, gaiters) which are used in environments where they are exposed to radiation.

The object of this part of IEC 60544 is to provide guidelines on the assessment of ageing in service. The approaches discussed cover ageing assessment programmes based on condition monitoring (CM), the use of equipment deposits in severe environments and sampling of real-time aged components.

### 2 Normative references

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

IEC 60544-1:1994, *Electrical insulating materials – Determination of the effects of ionizing radiation – Part 1: Radiation interaction and dissymmetry*

IEC 60544-2:1991, *Electrical insulating materials – Determination of the effects of ionizing radiation – Part 2: Procedures for irradiation and test*

IEC/TR2 61244-1:1993, *Determination of long-term ageing in polymers – Part 1: Techniques for monitoring diffusion-limited oxidation*

IEC/TR2 61244-2:1996, *Determination of long-term ageing in polymers – Part 2: Procedures for predicting ageing at low dose rates*

IEC/TR2 61244-3:1998, *Long-term radiation ageing in polymers – Part 3: Procedures for in-service monitoring of low-voltage cable materials*