



# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE

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

**Part 1: Radiation interaction and dosimetry**

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

**Partie 1: Interaction des rayonnements et dosimétrie**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

PRICE CODE  
CODE PRIX



ICS 17.240; 29.035.01

ISBN 978-2-83220-894-6

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

## CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references .....	7
3 Terms and definitions .....	7
4 Radiation-induced changes and their evaluation.....	9
4.1 General.....	9
4.2 Permanent changes .....	9
4.3 Environmental conditions and material geometry.....	9
4.4 Post-irradiation effects .....	9
4.5 Temporary effects .....	9
5 Facilities for irradiation of material samples for evaluation of properties .....	10
5.1 General.....	10
5.2 Gamma-ray irradiators.....	10
5.3 Electron-beam irradiators .....	10
5.4 X-ray (Bremsstrahlung) irradiators.....	11
6 Dosimetry methods.....	11
6.1 General.....	11
6.2 Absolute dosimetry methods.....	12
6.2.1 Gamma-rays.....	12
6.2.2 Electron beams .....	12
6.3 Dosimetry systems .....	12
6.3.1 Reference standard dosimetry systems .....	12
6.3.2 Routine dosimetry systems.....	13
6.3.3 Measurement uncertainty .....	14
6.3.4 Dosimeter calibration.....	15
6.3.5 Dosimeter selection .....	15
7 Characterization of irradiation facilities.....	16
8 Dose mapping of samples for test.....	16
8.1 Charged particle equilibrium.....	16
8.2 Depth-dose distribution (limitations) .....	16
9 Monitoring of the irradiation.....	17
Annex A (informative) Radiation chemical aspects in interaction and dosimetry .....	18
Bibliography.....	31
Figure A.1 – Absorbed dose as a function of thickness .....	19
Figure A.2 – Absorber thickness for charged-particle equilibrium as a function of energy for a material with an electron density of $3,3 \times 10^{23} \text{ cm}^{-3}$ (water).....	20
Figure A.3 – Thickness of water ( $1 \text{ g/cm}^3$ ) as a function of photon energy for a given attenuation of unidirectional X-ray or $\gamma$ -ray radiation .....	21
Figure A.4 – Typical depth-dose distribution in a homogeneous material obtained with electron accelerators for radiation processing .....	25
Figure A.5 – Example of calculated results of energy deposition function, $I(z')$ , for a slab layer of polyethylene exposed to 1 MeV electron .....	25
Figure A.6 – Example of calculated results of energy deposition function, $I(z')$ , for typical organic insulators exposed to 1 MeV electron .....	26

Figure A.7 – Two methods of arranging the irradiation samples in order to take into account the typical depth-dose distributions.....	27
Figure A.8 – Methods of arranging the irradiation samples for measuring electron depth-dose distributions with a stack of slab insulating materials and wedge-shape insulating materials.....	28
Figure A.9 – Scheme of radiation effects of polymers.....	29
Table 1 – Examples of reference standard dosimeters .....	13
Table 2 – Examples of routine dosimeter systems.....	14
Table A.1 – Electron mass collision stopping powers, $S/\rho$ (MeV cm <sup>2</sup> /g).....	23
Table A.2 – Photon mass energy absorption coefficients, $\mu_{en}/\rho$ (cm <sup>2</sup> /g) .....	24

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

---

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

#### **Part 1: Radiation interaction and dosimetry**

#### FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as “IEC Publication(s)”). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is 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 its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60544-1 has been prepared by IEC technical committee 112: Evaluation and qualification of electrical insulating materials and systems.

This third edition cancels and replaces the second edition published in 1994 and constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- a) recent advances in simulation methods of radiation interaction with different matter enables the prediction of the energy-deposition profile in matter and design the irradiation procedure;
- b) many new dosimetry systems have become available.

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

FDIS	Report on voting
112/254/FDIS	112/262/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.

A list of all parts in the IEC 60544 series, published under the general title *Electrical insulating materials – Determination of the effects of ionizing radiation*, can be found on the IEC website.

The committee has 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.

## INTRODUCTION

The establishment of suitable criteria for the evaluation of the radiation resistance of insulating materials is very complex, since such criteria depend upon the conditions under which the materials are used. For instance, if an insulated cable is flexed during a refuelling operation in a reactor, the service life will be that time during which the cable receives a radiation dose sufficient to reduce to a specified value one or more of the relevant mechanical properties. Temperature of operation, composition of the surrounding atmosphere and the time interval during which the total dose is received (dose rate or flux) are important factors which also determine the rate and mechanisms of chemical changes. In some applications, temporary changes may be the limiting factor.

Given this, it becomes necessary to define the radiation fields in which materials are exposed and the radiation dose subsequently absorbed by the material. It is also necessary to establish procedures for testing the mechanical and electrical properties of materials which will define the radiation degradation and link those properties with application requirements in order to provide an appropriate classification system.

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

## **Part 1: Radiation interaction and dosimetry**

### **1 Scope**

This part of IEC 60544 deals broadly with the aspects to be considered in evaluating the effects of ionizing radiation on all types of organic insulating materials. It also provides, for X-rays,  $\gamma$ -rays, and electrons, a guide to

- dosimetry terminology,
- methods for dose measurements,
- testing carried out at irradiation facilities,
- evaluation and testing of material characteristics and properties,
- documenting the irradiation process.

Dosimetry that might be carried out at locations of use of the material is not described in this standard.

### **2 Normative references**

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

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

IEC 60544-4, *Electrical insulating materials – Determination of the effects of ionizing radiation – Part 4: Classification system for service in radiation environments*

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS .....	36
INTRODUCTION.....	38
1 Domaine d'application .....	39
2 Références normatives.....	39
3 Termes et définitions .....	39
4 Modifications provoquées par le rayonnement et leur évaluation .....	41
4.1 Généralités.....	41
4.2 Modifications permanentes.....	41
4.3 Conditions environnementales et géométrie du matériau .....	41
4.4 Effets post-irradiation .....	41
4.5 Effets temporaires .....	42
5 Installations d'irradiation des éprouvettes de matériau pour l'évaluation des propriétés .....	42
5.1 Généralités.....	42
5.2 Sources de rayonnement gamma .....	43
5.3 Sources de faisceaux d'électrons .....	43
5.4 Sources de rayonnement X (Bremsstrahlung).....	43
6 Méthodes de dosimétrie .....	43
6.1 Généralités.....	43
6.2 Méthodes de dosimétrie absolues .....	44
6.2.1 Rayonnements gamma .....	44
6.2.2 Faisceaux d'électrons .....	44
6.3 Systèmes de dosimétrie .....	44
6.3.1 Systèmes de dosimétrie étalons de référence.....	44
6.3.2 Systèmes de dosimétrie courants .....	45
6.3.3 Incertitude de mesure.....	46
6.3.4 Etalonnage des dosimètres .....	47
6.3.5 Choix des dosimètres .....	47
7 Caractérisation des installations d'irradiation.....	48
8 Cartographie dosimétrique des éprouvettes pour l'essai .....	48
8.1 Equilibre des particules chargées .....	48
8.2 Distribution de dose en profondeur (limites) .....	49
9 Surveillance de l'irradiation .....	49
Annexe A (informative) Aspects chimiques du rayonnement en interaction et dosimétrie.....	50
Bibliographie.....	65
Figure A.1 – Dose absorbée en fonction de l'épaisseur.....	52
Figure A.2 – Epaisseur d'absorbant pour l'équilibre de particules chargées en fonction de l'énergie pour un matériau ayant une densité d'électrons de $3,3 \times 10^{23} \text{ cm}^{-3}$ (eau) .....	53
Figure A.3 – Epaisseur d'eau ( $1 \text{ g/cm}^3$ ) en fonction de l'énergie des photons pour une atténuation donnée des rayons X ou $\gamma$ unidirectionnels .....	54
Figure A.4 – Distribution type de dose en profondeur dans un matériau homogène obtenue avec des accélérateurs à électrons pour le traitement par rayonnement .....	58
Figure A.5 – Exemple de résultats calculés de la fonction de dépôt d'énergie, $I(z')$ , pour une plaque de polyéthylène exposée à un faisceau d'électrons de 1 MeV .....	58



Figure A.6 – Exemple de résultats calculés de la fonction de dépôt d'énergie, $I(z')$ , pour des isolants organiques types exposés à un faisceau d'électrons de 1 MeV.....	59
Figure A.7 – Deux façons de disposer les éprouvettes à irradier afin de tenir compte des distributions de dose en profondeur types .....	60
Figure A.8 – Différentes façons de disposer les éprouvettes à irradier pour mesurer les distributions de dose d'électrons en profondeur dans une pile d'isolants en forme de plaques et de coins.....	61
Figure A.9 – Schéma des effets du rayonnement sur les polymères.....	62
Tableau 1 – Exemples de dosimètres étalons de référence.....	45
Tableau 2 – Exemples de systèmes de dosimètre courants.....	46
Tableau A.1 – Pouvoirs massiques d'arrêt par collision des électrons, $S/\rho$ (MeV cm <sup>2</sup> /g) .....	56
Tableau A.2 – Coefficients d'absorption massique d'énergie des photons, $\mu_{en}/\rho$ (cm <sup>2</sup> /g) .....	57

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

#### Partie 1: Interaction des rayonnements et dosimétrie

##### AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 60544-1 a été établie par le comité d'études 112 de la CEI: Évaluation et qualification des systèmes et matériaux d'isolement électrique.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition, publiée en 1994, dont elle constitue une révision technique.

Cette édition inclut les changements techniques majeurs suivants par rapport à l'édition précédente:

- a) des avancées récentes au niveau des méthodes de simulation de l'interaction des rayonnements avec des types de matière différents permettent de prédire le profil de dépôt d'énergie dans la matière et de concevoir la procédure d'irradiation;
- b) de nombreux nouveaux systèmes de dosimétrie sont actuellement disponibles.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
112/254/FDIS	112/262/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.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 60544, publiées sous le titre général *Matériaux isolants électriques – Détermination des effets des rayonnements ionisants*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

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

## INTRODUCTION

La définition de critères appropriés pour l'évaluation de la tenue aux rayonnements des matériaux isolants est très complexe, car de tels critères dépendent des conditions d'utilisation de ces matériaux. Par exemple, si un câble isolé est plié pendant le rechargement en combustible d'un réacteur, sa durée de vie est la période durant laquelle il reçoit une dose de rayonnement suffisante pour réduire à une valeur spécifiée une ou plusieurs des propriétés mécaniques correspondantes. La température de fonctionnement, la composition de l'atmosphère environnante et le temps pendant lequel la dose totale est reçue (débit de dose ou flux) sont des facteurs importants qui déterminent également la vitesse et les mécanismes des transformations chimiques. Pour certaines applications, les modifications temporaires peuvent constituer le facteur limitatif.

De ce fait, il s'avère nécessaire de définir les champs de rayonnement auxquels les matériaux sont exposés et la dose de rayonnement qu'ils sont susceptibles d'absorber. Il est également nécessaire d'établir les méthodes d'essai des propriétés mécaniques et électriques des matériaux qui permettront de définir les détériorations dues au rayonnement et de relier ces propriétés aux exigences d'application afin de mettre sur pied un système de classification approprié.

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

## Partie 1: Interaction des rayonnements et dosimétrie

### 1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60544 traite de manière générale des aspects à envisager lors de l'évaluation des effets des rayonnements ionisants sur tous les types de matériaux isolants organiques. Elle fournit également pour les rayons X, les rayons  $\gamma$  et les électrons, un guide

- de terminologie en dosimétrie,
- des méthodes de mesure des doses,
- des essais réalisés au niveau des dispositifs d'irradiation,
- relatif à l'évaluation et aux essais des caractéristiques et propriétés des matériaux,
- de documentation du phénomène d'irradiation.

La dosimétrie susceptible d'être réalisée au niveau des emplacements d'utilisation du matériau n'est pas décrite dans la présente norme.

### 2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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 60544-2, *Matériaux isolants électriques – Détermination des effets des rayonnements ionisants sur les matériaux isolants – Partie 2: Méthodes d'irradiation et d'essai*

CEI 60544-4, *Matériaux isolants électriques – Détermination des effets des rayonnements ionisants sur les matériaux isolants – Partie 4: Système de classification pour l'utilisation dans un environnement sous rayonnement*