

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE  
NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION  
IEC STANDARD

Publication 544-3

Première édition — First edition

1979

---

**Guide pour la détermination des effets des rayonnements ionisants  
sur les matériaux isolants**

**Troisième partie: Méthodes d'essais pour la détermination des effets permanents**

---

**Guide for determining the effects of ionizing radiation  
on insulating materials**

**Part 3: Test procedures for permanent effects**

---



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe  
Genève, Suisse

## Révision de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la Commission afin d'assurer qu'il reflète bien l'état actuel de la technique.

Les renseignements relatifs à ce travail de révision, à l'établissement des éditions révisées et aux mises à jour peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et en consultant les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Rapport d'activité de la CEI**  
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**  
Publié annuellement

## Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la Publication 50 de la CEI: Vocabulaire Electrotechnique International (V.E.I.), qui est établie sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini, l'Index général étant publié séparément. Des détails complets sur le V.E.I. peuvent être obtenus sur demande.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit repris du V.E.I., soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

## Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, symboles littéraux et signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la Publication 27 de la CEI: Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique;
- la Publication 117 de la CEI: Symboles graphiques recommandés.

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit repris des Publications 27 ou 117 de la CEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

## Autres publications de la CEI établies par le même Comité d'Etudes

L'attention du lecteur est attirée sur les pages 3 et 4 de la couverture, qui énumèrent les autres publications de la CEI préparées par le Comité d'Etudes qui a établi la présente publication.

## Revision of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information on the work of revision, the issue of revised editions and amendment sheets may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **Report on IEC Activities**  
Published yearly
- **Catalogue of IEC Publications**  
Published yearly

## Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC Publication 50: International Electrotechnical Vocabulary (I.E.V.), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field, the General Index being published as a separate booklet. Full details of the I.E.V. will be supplied on request.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the I.E.V. or have been specifically approved for the purpose of this publication.

## Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to:

- IEC Publication 27: Letter symbols to be used in electrical technology;
- IEC Publication 117: Recommended graphical symbols.

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC Publications 27 or 117, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

## Other IEC publications prepared by the same Technical Committee

The attention of readers is drawn to pages 3 and 4 of the cover, which list other IEC publications issued by the Technical Committee which has prepared the present publication.

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE  
NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION  
IEC STANDARD

Publication 544-3

Première édition — First edition

1979

---

**Guide pour la détermination des effets des rayonnements ionisants  
sur les matériaux isolants**

**Troisième partie: Méthodes d'essais pour la détermination des effets permanents**

---

**Guide for determining the effects of ionizing radiation  
on insulating materials**

**Part 3: Test procedures for permanent effects**

---

**Mots clés:** matériaux isolants, essais  
d'endurance aux rayonnements  
ionisants, exigences, modification  
permanente des propriétés.

**Key words:** insulating materials, ionizing  
radiation endurance tests,  
requirements, permanent  
modification of properties.



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 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.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe  
Genève, Suisse

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**GUIDE POUR LA DÉTERMINATION DES EFFETS DES RAYONNEMENTS  
IONISANTS SUR LES MATÉRIAUX ISOLANTS**

**Troisième partie : Méthodes d'essais pour la détermination des effets permanents**

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

PRÉFACE

La présente norme a été établie par le Sous-Comité 15B: Essais d'endurance, du Comité d'Etude N° 15 de la CEI: Matériaux isolants.

Un projet fut discuté lors de la réunion tenue à Toronto en 1976. A la suite de cette réunion, le projet, document 15B(Bureau Central)41, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en juin 1977.

Les Comités nationaux des pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication :

Afrique du Sud (République d')  
Allemagne  
Autriche  
Belgique  
Canada  
Danemark  
Egypte  
Finlande  
France  
Japon

Norvège  
Portugal  
Roumanie  
Royaume-Uni  
Suède  
Suisse  
Tchécoslovaquie  
Turquie  
Union des Républiques  
Socialistes Soviétiques

*Autres publications de la CEI citées dans la présente norme :*

- |                        |                                                                                                                                              |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Publications n°s 212 : | Conditions normales à observer avant et pendant les essais de matériaux isolants électriques solides.                                        |
| 544-1 :                | Guide pour la détermination des effets des rayonnements ionisants sur les matériaux isolants, Première partie: Interaction des rayonnements. |
| 544-2 :                | Deuxième partie: Méthodes d'irradiation                                                                                                      |

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**GUIDE FOR DETERMINING THE EFFECTS  
OF IONIZING RADIATION ON INSULATING MATERIALS**

**Part 3 : Test procedures for permanent effects**

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

This standard has been prepared by Sub-Committee 15B: Endurance Tests, of IEC Technical Committee No. 15: Insulating Materials.

A draft was discussed at the meeting held in Toronto in 1976. As a result of this meeting, the draft, Document 15B(Central Office)41, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in June 1977.

The National Committees of the following countries voted explicitly in favour of publication :

|                |                            |
|----------------|----------------------------|
| Austria        | Norway                     |
| Belgium        | Portugal                   |
| Canada         | Romania                    |
| Czechoslovakia | South Africa (Republic of) |
| Denmark        | Sweden                     |
| Egypt          | Switzerland                |
| Finland        | Turkey                     |
| France         | Union of Soviet            |
| Germany        | Socialist Republics        |
| Japan          | United Kingdom             |

*Other IEC publications quoted in this standard :*

|                        |                                                                                                                |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Publications Nos. 212: | Standard Conditions for Use Prior to and During the Testing of Solid Electrical Insulating Materials           |
| 544-1:                 | Guide for Determining the Effects of Ionizing Radiation on Insulating Materials, Part 1: Radiation Interaction |
| 544-2:                 | Part 2: Procedures for Irradiation.                                                                            |

## GUIDE POUR LA DÉTERMINATION DES EFFETS DES RAYONNEMENTS IONISANTS SUR LES MATÉRIAUX ISOLANTS

### Troisième partie : Méthodes d'essais pour la détermination des effets permanents

#### 1. Introduction

- 1.1 En sélectionnant les matériaux pour les composants électriques en vue de leurs utilisations spécifiques en ambiance de rayonnement, ceux qui conçoivent les composants doivent disposer de résultats d'essais en nombre suffisant et d'une fiabilité suffisante pour pouvoir comparer les matériaux candidats. Pour être significatives, les données sur les performances doivent avoir été obtenues pour chacun des matériaux par des méthodes normalisées; ces méthodes doivent avoir été conçues pour mettre en évidence l'incidence de variations des conditions d'utilisation sur les propriétés significatives. On doit particulièrement se préoccuper des différences d'effets dans le cas où les conditions de service normal correspondent à un faible débit de dose et à des environnements combinés, tandis que les matériaux d'isolation ont été sélectionnés d'après des données de tenue au rayonnement issues d'essais réalisés à haut débit de dose et dans des conditions normalisées. Cette partie de la norme a pour objet de définir des méthodes recommandées internationalement pour tester ces propriétés et fixer les conditions d'irradiation qui mettent en évidence l'effet du débit de dose.
- 1.2 La première partie de la norme (Publication 544-1 de la CEI: Guide pour la détermination des effets des rayonnements ionisants sur les matériaux isolants, Première partie: Interaction des rayonnements) constitue une introduction traitant, d'un point de vue très général, les problèmes liés à l'évaluation des effets des rayonnements. La première partie fournit également un guide de terminologie en dosimétrie, plusieurs méthodes de détermination de la dose d'exposition et de la dose absorbée ainsi que des méthodes de calcul de la dose absorbée dans tout matériau spécifique selon la méthode de dosimétrie utilisée. La deuxième partie de la norme (Publication 544-2 de la CEI: Méthodes d'irradiation) décrit des méthodes pour maintenir six types différents de conditions d'exposition pendant l'irradiation. Elle spécifie également la façon de régler ces conditions de manière à obtenir des comparaisons fiables des performances des matériaux à partir des résultats des essais.

#### 2. Signification

- 2.1 En l'absence de rayonnement, le taux de vieillissement des matériaux isolants en service est modifié par l'atmosphère ambiante, la température et les contraintes physiques des conditions spécifiques d'utilisation. L'addition de rayonnements ionisants à ces facteurs d'influence peut avoir un effet d'accélération sur le taux de vieillissement, et ce phénomène peut être très complexe. Cela est particulièrement vrai, car les états réactifs induits par rayonnement de quelques polymères peuvent participer à des réactions de décomposition avec l'oxygène, qui ne se produiraient pas en l'absence d'oxygène. Cet effet dépend de la quantité d'oxygène disponible, par diffusion, aux sites de réaction qui se trouvent dans la masse du matériau. Cet effet est responsable de l'influence du débit de dose absorbée que l'on observe, et qui n'est généralement pas constatée, lorsque les échantillons sont irradiés en l'absence d'oxygène. Lorsqu'une irradiation sous un faible débit de dose est effectuée pendant une longue durée en présence d'oxygène, la résistance aux rayonnements peut être beaucoup moindre (dans un rapport de 100 ou plus) que lorsque l'échantillon est irradié sous vide ou dans un gaz inerte. Avec une durée d'irradiation courte, cet effet est limité à la région voisine de la surface du matériau et si les échantillons ne sont pas trop minces, certaines propriétés ne seront alors pas plus affectées que lors de l'irradiation en

## GUIDE FOR DETERMINING THE EFFECTS OF IONIZING RADIATION ON INSULATING MATERIALS

### Part 3 : Test procedures for permanent effects

---

#### 1. Introduction

- 1.1 When selecting materials for electrical components for specific service applications in radiation environments, the component designers must have available sufficient reliable test data to compare candidate materials. To be meaningful, the performance data must have been obtained on each material by standardized procedures, and the procedures must have been designed to demonstrate the influence that variations of the service conditions will have on the significant properties. The difference in these effects is of particular concern where normal service conditions of low dose rates and combined environments exist, and the insulation materials have been selected from radiation endurance data obtained from tests conducted at high dose rates and standard conditions. The purpose of this part of the standard is to identify internationally-recommended methods for testing these properties and to establish irradiation conditions that will provide the dose rate effect distinction.
- 1.2 Part 1 of the standard (IEC Publication 544-1: Guide for Determining the Effects of Ionizing Radiation of Insulating Materials. Part 1: Radiation Interaction) constitutes an introduction dealing very broadly with the problems involved in evaluating radiation effects. It also provides 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 (IEC Publication 544-2: Procedures for Irradiation) describes procedures for maintaining six different types of exposure conditions during the irradiation. It also specifies the controls that must be maintained over these conditions so that when test results are reported, reliable comparisons of material performances can be obtained.

#### 2. Significance

- 2.1 In the absence of radiation, the ageing rate of insulating materials in service is influenced by the conditions of the ambient atmosphere, the temperature and the physical stresses of the specific service applications. Ionizing radiation added to these factors of influence may have an accelerating effect on the ageing rate, and this effect may be very complex. This is particularly so because radiation-induced reactive states of some polymers can enter into decomposition reactions with oxygen that would not occur in its absence. This effect depends on how much oxygen becomes available, by diffusion, at the reaction sites within the bulk of the material. It is responsible for an observed influence of the absorbed dose rate which is usually not present when the samples are irradiated in the absence of oxygen. When an irradiation at a low dose rate is carried out for a long time in the presence of oxygen, the radiation resistance may be much less (by a factor of up to 100 and more) than when the sample is irradiated under vacuum or in the presence of inert gas. With a short irradiation time this effect is limited to the region near the surface, and if the samples are not too thin, some properties will then be no more affected than they are by irradiation in the absence of oxygen. Therefore, when the material is to be used in air over long periods of time and will be subjected to a low dose rate, depositing the same total dose at

l'absence d'oxygène. En conséquence, si le matériau doit être utilisé dans l'air pendant de longues périodes en étant soumis à des rayonnements de faible intensité, le fait de déposer la même dose totale à fort débit de dose en un temps court ne permet pas de déterminer sa durabilité, à moins que l'effet de l'épaisseur de l'échantillon et de sa perméabilité à l'oxygène n'ait été pris en compte dans la méthode.

- 2.2 La durée de vie d'un matériau isolant soumis à l'irradiation n'est habituellement pas déterminée à partir des changements de propriétés électriques, mais plutôt par ceux des propriétés mécaniques. Celles-ci peuvent être améliorées temporairement dans les plastiques qui réticulent, mais cela n'améliore pas leur aptitude à l'emploi, puisque les calculs doivent être basés sur les valeurs initiales. Pour de plus fortes doses absorbées, tous les plastiques deviennent fragiles et techniquement inutilisables. Le processus de fragilisation doit être pris en considération lors du choix des propriétés à essayer.
- 2.3 Les valeurs de la dose absorbée totale, qui provoquent des changements nuisibles des propriétés des matériaux isolants, peuvent être inférieures à 1 kGy ou supérieures à 100 MGy\*. La résistance électrique diminue habituellement, mais des augmentations ont également été observées. La même remarque s'applique à la tension disruptive. Les changements que présentent le facteur de dissipation diélectrique et la permittivité dépendent de la température et de la fréquence appliquée.
- 2.4 Les propriétés électriques et mécaniques exigées pour les matériaux isolants et l'importance des changements de propriétés résultant de l'exposition au rayonnement que l'on peut accepter sont si variées qu'il n'est pas possible d'établir, dans le cadre d'une recommandation, une liste précise des propriétés qu'il convient de déterminer. La même remarque est valable pour les conditions d'irradiation. En conséquence, on ne fait que recommander, ci après, quelques conditions d'irradiation et quelques propriétés dont l'expérience passée a montré l'importance, et qui devraient être adoptées pour la description des matériaux isolants dans les notices d'information du fabricant. Cependant, fournir l'effet de ces conditions sur les propriétés devrait permettre une meilleure comparaison des informations relatives à leur stabilité. Les propriétés recommandées ici sont celles qui sont particulièrement sujettes à des changements sous l'effet de l'irradiation. Le choix des propriétés à utiliser pour un essai, en vue d'une application donnée, sera basé sur les exigences spécifiques pour cette application.

### 3. Objet

Cette partie de la norme décrit les conditions normalisées d'exposition à l'irradiation et les méthodes d'essai permettant de comparer la résistance relative des matériaux isolants électriques aux effets des rayonnements ionisants. Pour déterminer la résistance d'un matériau, on examine la relation qui existe entre la dose absorbée et les changements qui affectent ses propriétés.

### 4. Applications

- 4.1 Les présentes recommandations peuvent être appliquées aux matériaux isolants inorganiques et organiques, mais conviennent particulièrement aux polymères organiques. Les essais ont pour but de déterminer les modifications permanentes des propriétés physiques du matériau. Les modifications transitoires survenant durant l'irradiation ne peuvent pas être détectées par cette méthode, à moins de modifications appropriées.

\* L'unité SI de dose absorbée est le gray (Gy); 1 Gy = 1 J/kg (=  $10^2$  rad). Un multiple usuel pour les doses plus élevées est le kilogray; 1 kGy = 1 kJ/kg (=  $10^{-1}$  Mrad). L'unité SI de débit de dose absorbée est le gray par seconde; 1 Gy/s = 1 W/kg (=  $10^2$  rad/s = 0,36 Mrad/h).

a high dose rate in a short exposure period is not adequate to determine its durability unless considerations of sample thickness and oxygen permeability constant are included in the procedure.

- 2.2 The time to failure of an insulating material subjected to irradiation is usually not determined by changes in the electrical properties, but rather by the mechanical properties. These may be improved temporarily in plastics which cross link, but this does not improve their usefulness, since calculations must be based on the initial values. With higher absorbed doses, all plastics become brittle and technically unusable. This process of becoming brittle should be considered when the properties to be tested are chosen.
- 2.3 The total absorbed dose values which cause detrimental changes in the properties of insulating materials can be less than 1 kGy or more than 100 MGy\*. The electrical resistance usually decreases, but increases have also been observed. The same is true of the breakdown voltage. The changes in the dielectric dissipation factor and the permittivity depend on the temperature and applied frequency.
- 2.4 The electrical and mechanical properties required of insulating materials and the acceptable radiation-induced changes in them are so varied that it is not possible to establish definite properties to be tested within the framework of a recommendation. The same holds for the irradiation conditions. Therefore, only a few irradiation conditions and properties which previous experience has shown to be important and which should be adopted for the description of insulating materials in the producer's information sheets are recommended. However, providing the effects of these conditions on properties would permit better comparison of durability information. The properties recommended are those that are especially subject to characteristic changes under irradiation. The choice of properties to be used in a test for a specific application shall be based on the specific requirements for that application.

### 3. Scope

This part of the standard establishes standard irradiation exposure conditions and test procedures for comparing the relative resistance of electrical insulating materials to the effects of ionizing radiation. To determine the radiation resistance of a material, the relationship between the absorbed dose and changes in its properties is examined.

### 4. Applications

- 4.1 These recommendations may be applied to inorganic and organic insulating materials, but are especially pertinent to organic polymers. The tests are intended to determine permanent changes in the physical properties of the material. Transient changes occurring during the irradiation cannot be detected by this procedure unless it is appropriately modified.

---

\* The SI unit of absorbed dose is the gray (Gy); 1 Gy = 1 J/kg (= 10<sup>2</sup> rad). A usual multiple for higher doses is the kilogray; 1 kGy = 1 kJ/kg (= 10<sup>-1</sup> Mrad). The SI unit of absorbed dose rate is the gray per second; 1 Gy/s = 1 W/kg (= 10<sup>2</sup> rad/s = 0.36 Mrad/h).

4.2 La résistance aux rayonnements peut être caractérisée par :

4.2.1 La *dose absorbée* requise pour produire une modification prédéterminée d'une propriété. Le critère de dégradation peut être exprimé par une valeur fixée d'une propriété ou par un pourcentage de la valeur d'origine.

4.2.2 *L'importance du changement d'une propriété* produit par une valeur fixée de la dose absorbée.

4.3 Des conditions spécifiques d'irradiation sont données pour effectuer l'irradiation en l'absence d'air à des débits de dose élevés, et en présence d'air à de faibles débits de dose. La différence entre les doses totales nécessaires pour produire une variation déterminée d'une propriété dans chacune de ces conditions est un moyen d'apprécier l'effet de l'oxygène sur la résistance du matériau aux rayonnements.

4.4 L'application de ces recommandations suppose que soient définis les points suivants :

- conditions d'irradiation (voir article 5);
- propriétés dont les changements peuvent être mesurés (voir article 6);
- critères de dégradation des propriétés ou valeurs de dose absorbée (voir article 7).

## 5. Conditions d'irradiation

5.1 Les conditions d'irradiation qui doivent être définies, sont :

- la nature et l'énergie du rayonnement;
- le débit de dose absorbée;
- le milieu environnant;
- la température;
- les contraintes mécaniques, électriques ou autres;
- l'épaisseur de l'échantillon.

5.2 Il est préférable d'utiliser pour l'irradiation des rayons gamma, des rayons X ou des électrons. Leur énergie doit être choisie de façon que la dose absorbée par l'éprouvette soit homogène à  $\pm 15\%$  près.

5.3 Quoique des travaux supplémentaires doivent être réalisés pour définir les meilleures conditions d'irradiation pour comparer les effets combinés du débit de dose et de l'oxygène, les gammes suivantes sont considérées comme préférentielles :

5.3.1 Conditions d'exposition de courte durée, en l'absence d'oxygène de préférence, à forts débits de dose absorbée dans la gamme de 1 Gy/s à 300 Gy/s. Ces débits peuvent être obtenus avec des sources de rayons  $\gamma$  dans la partie basse de la gamme et par des faisceaux d'électrons dans la partie haute.

Puisqu'un échauffement dû au rayonnement peut se produire à ces forts débits de dose, la limite supérieure se trouve fixée par la température d'essai spécifiée (voir Publication 544-2 de la CEI, paragraphe 6.1.5).

5.3.2 Conditions d'exposition de longue durée en présence d'oxygène (air ambiant) à faibles débits de dose, jusqu'à  $3 \times 10^{-2}$  Gy/s. Ceux-ci peuvent être obtenus avec des sources de rayons  $\gamma$ .

5.4 Il est préférable d'irradier les éprouvettes à deux températures : 23 °C et 80 °C. Cela facilitera la comparaison des matériaux pour utilisation en réacteur nucléaire. Si d'autres températures doivent être choisies pour d'autres applications particulières, les températures seront choisies dans les séries normalisées données dans la Publication 212 de la CEI : Conditions normales à observer avant et pendant les essais de matériaux isolants électriques solides.

4.2 The radiation resistance can be characterized by:

4.2.1 The *absorbed dose* required to produce a predetermined change in a property. The end-point criterion may be expressed as a fixed property value or as a percentage of the original value.

4.2.2 The *amount of change in a property* produced by a fixed value of absorbed dose.

4.3: Specific irradiation conditions are given for conducting the irradiation in the absence of air at high dose rates and in the presence of air at low dose rates. The difference in total dose required to produce a specified amount of change in a property by each of these conditions will provide a measure of the oxygen effect on the radiation resistance of the material.

4.4 The application of this recommendation requires the following points to be established:

- irradiation conditions (see Clause 5);
- properties whose changes may be evaluated (see Clause 6);
- end-point criteria of properties and/or values of absorbed dose (see Clause 7).

## 5. Irradiation conditions

5.1 The irradiation conditions which must be established are:

- kind and energy of the radiation
- absorbed dose rate
- surrounding medium
- temperature
- mechanical, electrical and other stresses
- sample thickness

5.2 It is preferable to use  $\gamma$ -rays, X-rays or electrons for the irradiation. Their energy should be so chosen that the homogeneity of the absorbed dose in the sample is within  $\pm 15\%$ .

5.3 Although more work will have to be done in order to define the best irradiation conditions for comparisons of the combined effects of dose rate and oxygen, the following ranges are considered as preferred:

5.3.1 Short time exposure conditions in the absence of oxygen preferably at high absorbed dose rates in the range of 1 Gy/s to 300 Gy/s. These can be obtained by  $\gamma$ -ray sources in the lower part of the range and by electron beam sources in the upper.

Since radiation heating can occur at high dose rates, the upper limit is governed by the specified test temperature (see IEC Publication 544-2, Sub-clause 6.1.5).

5.3.2 Long time exposure conditions in the presence of oxygen (ambient air) at low absorbed dose rates up to  $3 \times 10^{-2}$  Gy/s. These can be attained in  $\gamma$ -ray sources.

5.4 It is preferable to irradiate the specimens at two temperatures: 23 °C and 80 °C. This will facilitate the comparison between materials for nuclear reactor service. If other temperatures are to be chosen for other particular applications, then the temperatures should be chosen from the standardized series given in IEC Publication 212: Standard Conditions for Use Prior to and During the Testing of Solid Electrical Insulating Materials.

## 6. Méthodes d'essais

- 6.1 Les propriétés dont les changements peuvent être mesurés, et les méthodes d'essai appropriées, sont données dans le tableau I.
- 6.2 Les essais mécaniques suivants sont recommandés:
- Plastiques rigides: Contrainte de traction à la limite élastique, contrainte de traction ou contrainte de flexion à la charge maximale, résistance au choc.
  - Plastiques souples: Contrainte de traction à la limite élastique, allongement à la rupture, dureté, résistance au choc.
  - Elastomères: Contrainte de traction à la limite élastique, allongement à la rupture, module d'élasticité, dureté, rémanence à la compression.
- 6.3 Si elles sont irradiées au cours d'expositions de longue durée, les éprouvettes doivent être aussi minces que possible dans les limites tolérées par les normes. Les essais préférentiels sont ceux qui permettent d'utiliser des éprouvettes relativement minces. Il n'est pas toujours possible de choisir des éprouvettes conformes aux normes mentionnées dans le tableau I. La source de rayonnement et le récipient ont un volume limité dans lequel le champ de rayonnement est suffisamment uniforme, d'où les restrictions sur la taille des éprouvettes.

## 7. Critères d'évaluation

- 7.1 Des critères arbitraires de dégradation des propriétés sont à utiliser lorsqu'on veut déterminer la dose absorbée nécessaire pour entraîner une modification donnée de propriété (voir paragraphe 4.2.1).

Des valeurs recommandées sont données dans le tableau I.

En tant que critère pour une utilisation particulière, la valeur de dégradation pour chaque propriété sera déterminée d'après la valeur acceptable pour les conditions particulières de service du matériau à l'essai. Ces valeurs seront donc données dans la spécification particulière du matériau.

- 7.2 De plus, une limite de dose absorbée à ne pas dépasser, même si la modification indiquée de propriété physique de l'échantillon n'est pas atteinte, peut être fixée ou convenue dans la norme particulière du matériau. Dans ce cas, la limite de dose absorbée doit être de préférence l'une des valeurs spécifiées au paragraphe 7.3.

*Note.*— Dans beaucoup de cas, il peut être opportun d'utiliser comme limite de la dose absorbée  $10^7$  Gy, ou même, dans des cas particuliers,  $10^8$  Gy.

- 7.3 *Valeurs des doses absorbées* à utiliser lorsqu'on veut déterminer le degré de modification dû à une dose donnée (voir paragraphe 4.2.2).

Les valeurs des doses absorbées seront de préférence:

$$10^3, 10^4, 10^5, 3 \times 10^5, 10^6, 3 \times 10^6, 10^7, 3 \times 10^7, 10^8 \text{ Gy.}$$

## 8. Echantillons

Le nombre, la forme et les dimensions ainsi que les traitements préalables (si nécessaire) des échantillons devront être conformes aux normes, ou bien faire l'objet d'un accord pour les raisons indiquées au paragraphe 6.3. Conformément à la Publication 544-2 de la CEI, paragraphe 5.1.3., des éprouvettes témoins devront être fournies.

## 6. Test procedures

6.1 Properties which can be evaluated for change and the appropriate test procedures are listed in Table I.

6.2 The following mechanical tests are recommended:

- Rigid plastics: Tensile strength at yield, tensile or flexural strength at maximum load, impact resistance.
- Flexible plastics: Tensile strength at yield, elongation at break, hardness, impact resistance.
- Elastomers: Tensile strength at yield, elongation at break, elasticity factor, hardness, compression set.

6.3 If irradiated under long time exposure conditions, the test specimens should be as thin as possible within the limits allowed by the standards. Tests are preferred which allow relatively thin test specimens. It is not always possible to choose specimens in accordance with the standards mentioned in Table I. The radiation source and container have a limited volume in which the radiation field is sufficiently uniform, hence the restriction in sample size.

## 7. Evaluation criteria

7.1 Arbitrary end-point criteria of properties are to be used when the absorbed dose required to produce a given change in the property is to be determined (see Sub-clause 4.2.1).

Recommended values are listed in Table I.

As a criterion for a specific application, the end-point value for each property will be determined by the value acceptable for the particular service condition for the material under test. Such values will be given in the relevant material specification.

7.2 In addition, a limit to the absorbed dose, which is not to be exceeded even if the specified change in the physical property of the sample has not been reached, may be established in the relevant material standard or agreed upon. In this case, the limit to the absorbed dose should preferably be one of the values specified in Sub-clause 7.3.

*Note.*— In many cases it may be expedient to use a limit to the absorbed dose of  $10^7$  Gy or in special cases,  $10^8$  Gy.

7.3 *Values of the absorbed dose* to be used when the amount of change in a property produced by a given dose is to be determined (see Sub-clause 4.2.2).

Preferred values for the absorbed dose are:

$$10^3, 10^4, 10^5, 3 \times 10^5, 10^6, 3 \times 10^6, 10^7, 3 \times 10^7, 10^8 \text{ Gy.}$$

## 8. Samples

Number, form and dimensions, and pre-treatment (when required) of the samples should agree with the relevant standards or should be agreed upon as per reasons given in Sub-clause 6.3. Control specimens should be provided according to IEC Publication 544-2, Sub-clause 5.1.3.

## 9. Irradiation et traitements ultérieurs

L'irradiation est réalisée dans les conditions indiquées dans la Publication 544-2 de la CEI, article 6. Les traitements ultérieurs sont réalisés conformément à la Publication 544-2 de la CEI, article 7. Les éprouvettes irradiées dans des conditions de courte exposition (voir paragraphe 5.3.1) sont maintenues en l'absence d'oxygène et à température ambiante pendant 48 h à 72 h après l'irradiation.

## 10. Détermination des modifications de propriétés

Les propriétés des éprouvettes irradiées et des éprouvettes témoins sont déterminées conformément aux normes particulières; les variations sont exprimées en termes de différences ou de rapports entre les valeurs des propriétés des éprouvettes irradiées et celles des témoins.

## 11. Evaluation

Pour déterminer la dose absorbée qui produit une modification donnée de propriété (voir paragraphe 7.1), on trace la courbe des valeurs de cette propriété, ou de leur modification, en fonction de la dose absorbée. (La dose absorbée est en abscisse, de préférence sur une échelle logarithmique.) La dose absorbée correspondant à la valeur limite particulière d'une propriété est alors déterminée par interpolation.

*Note.*— La détermination de la dose absorbée par extrapolation n'est possible que dans une mesure très limitée car la variation des valeurs des propriétés avec la dose absorbée ne suit aucune loi mathématique simple.

## 12. Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit faire référence à la présente norme, donner une description détaillée de toutes les dérogations aux recommandations ci-dessus et fournir les informations suivantes :

12.1 Type et spécification du produit essayé;

12.2 Méthode d'irradiation, détails suivant le rapport indiqué dans la Publication 544-2 de la CEI, article 8.

12.3 Propriétés testées, normes particulières d'essais et spécifications particulières de matériaux;

12.4 Si besoin est :

- critères de dégradation (voir paragraphe 7.1);
- limites de doses absorbées (voir paragraphe 7.2);
- doses absorbées prescrites (voir paragraphe 7.3).

12.5 Si besoin est :

- doses absorbées requises pour atteindre les critères de dégradation spécifiés, ou courbe suivant l'article 11;
- valeurs des propriétés des éprouvettes irradiées et des éprouvettes témoins, de même que les modifications de propriété suivant l'article 10.

12.6 Date d'essai.

## 9. Irradiation and subsequent treatment

Irradiation is carried out under the conditions given in IEC Publication 544-2, Clause 6. The subsequent treatment is carried out according to IEC Publication 544-2, Clause 7. Specimens irradiated under short time exposure conditions (see Sub-clause 5.3.1) are isolated from oxygen at room temperature for 48 h to 72 h after irradiation.

## 10. Determination of changes in properties

The properties of the irradiated and the control specimens are determined according to the relevant standards, and the changes are reported as the difference in or ratio between the values of the property in the irradiated and in the control specimens.

## 11. Evaluation

To determine the absorbed dose which produces a given change in a property (see Sub-clause 7.1), the values of the property or changes in the values are plotted against the absorbed dose. (The absorbed dose is on the abscissa, suitably on a logarithmic scale.) The absorbed dose corresponding to a particular limiting value for a property is then determined by interpolation.

*Note.* – Determination of an absorbed dose by extrapolation is possible only in a very limited way because the values of the properties do not change with increasing absorbed dose according to any simple mathematical expression.

## 12. Test report

The test report should include a reference to this standard, give a detailed description of any deviations from the recommendations herein, and provide the following information:

12.1 Type and specifications of the tested product.

12.2 Irradiation procedure, details according to the report in IEC Publication 544-2, Clause 8.

12.3 Properties tested and relevant test standards and material specifications.

12.4 As appropriate:

- end-point criteria (see Sub-clause 7.1);
- limiting absorbed dose (see Sub-clause 7.2);
- prescribed absorbed dose (see Sub-clause 7.3).

12.5 As appropriate:

- absorbed dose required to reach the specified end-point criteria, or a graph according to Clause 11;
- values of the properties in the irradiated specimens and the control specimens, as well as the property changes according to Clause 10.

12.6 Test date.

TABLEAU I

*Liste des propriétés, méthodes d'essais et critères de dégradation*

| Propriétés à déterminer                                                                                                            | Méthodes d'essais                            | Critères de dégradation <sup>1)</sup>                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Contrainte de traction au seuil d'écoulement<br>Contrainte de traction à la charge maximale<br>Contrainte de traction à la rupture | ISO/R 527-1966 et<br>ISO 37-1977             | 25 % et 50 %                                                                                   |
| Allongement au seuil d'écoulement<br>Allongement à la rupture                                                                      | ISO/R 527-1966 et<br>ISO 37-1977             | Matériaux rigides: 2 % d'allongement résiduel<br>Elastomères: 50 %<br>Plastiques souples: 50 % |
| Contrainte de flexion<br>module d'élasticité                                                                                       | ISO 178-1975                                 | 25 % et 50 %                                                                                   |
| Résistance au choc                                                                                                                 | ISO/R 179-1961                               | 25 % et 50 %                                                                                   |
| Propriétés de fluage en traction                                                                                                   | ISO/R 899-1968                               | 2)                                                                                             |
| Propriété de fluage en flexion                                                                                                     | ISO/R 899-1968 et<br>ISO 178-1975            | 2)                                                                                             |
| Dureté                                                                                                                             | ISO 2039-1973<br>ISO 48-1975<br>ISO 868-1978 | 2)                                                                                             |
| Déformation rémanente après compression                                                                                            | ISO 815-1972                                 | 25 % et 50 %                                                                                   |
| Température de fléchissement sous charge                                                                                           | ISO 75-1974                                  | 2)                                                                                             |
| Résistance transversale et superficielle                                                                                           | CEI 93-1958 et<br>CEI 167-1964               | 10 %                                                                                           |
| Rigidité diélectrique                                                                                                              | CEI 243-1967                                 | 25 % et 50 %                                                                                   |
| Permittivité                                                                                                                       | CEI 250-1969                                 | ±10 %                                                                                          |
| Facteur de dissipation diélectrique                                                                                                | CEI 250-1969                                 | 25 % et 50 %                                                                                   |
| Dégagement de gaz corrosifs                                                                                                        | A établir                                    | 2)                                                                                             |
| Viscosité                                                                                                                          | CEI 450-1974                                 | 2)                                                                                             |

<sup>1)</sup> S'il n'y a pas d'observation supplémentaire, les valeurs données en pourcentage représentent le changement de la propriété, exprimé en pourcentage de la valeur initiale.

<sup>2)</sup> On ne dispose pas de valeur à recommander en général.