

**COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE**  
**NORME DE LA CEI**

**INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION**  
**IEC STANDARD**

**Publication 544-1**  
Première édition — First edition  
1977

---

**Guide pour la détermination des effets des rayonnements ionisants  
sur les matériaux isolants**  
**Première partie : Interaction des rayonnements**

---

**Guide for determining the effects of ionizing radiation  
on insulating materials**  
**Part 1: Radiation interaction**

---



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 utilisée dans la présente publication

Seuls sont définis ici les termes spéciaux se rapportant à la présente publication.

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.

## Symboles graphiques et littéraux

Seuls des symboles graphiques et littéraux spéciaux sont inclus dans la présente publication.

Le recueil complet des symboles graphiques approuvés par la CEI fait l'objet de la Publication 117 de la CEI.

Les symboles littéraux et autres signes approuvés par la CEI font l'objet de la Publication 27 de la CEI.

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

L'attention du lecteur est attirée sur la page 3 de la couverture, qui énumère 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 used in this publication

Only special terms required for the purpose of this publication are defined herein.

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.

## Graphical and letter symbols

Only special graphical and letter symbols are included in this publication.

The complete series of graphical symbols approved by the IEC is given in IEC Publication 117.

Letter symbols and other signs approved by the IEC are contained in IEC Publication 27.

## Other IEC publications prepared by the same Technical Committee

The attention of readers is drawn to the inside of the back cover, which lists 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 544-1

Première édition — First edition

1977

---

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

**Première partie: Interaction des rayonnements**

---

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

**Part 1: Radiation interaction**

---



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.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

## SOMMAIRE

|                                                                                                                                                  | Pages |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| PRÉAMBULE . . . . .                                                                                                                              | 4     |
| PRÉFACE . . . . .                                                                                                                                | 4     |
| Articles                                                                                                                                         |       |
| 1. Introduction . . . . .                                                                                                                        | 6     |
| 2. Domaine d'application et objet . . . . .                                                                                                      | 6     |
| SECTION UN — PROBLÈMES LIÉS À L'ÉVALUATION<br>DE LA TENUE AUX RAYONNEMENTS DES MATÉRIAUX ISOLANTS ÉLECTRIQUES                                    |       |
| 3. Modifications provoquées par le rayonnement . . . . .                                                                                         | 6     |
| 4. Evaluation du champ de rayonnement . . . . .                                                                                                  | 8     |
| 5. Evaluation de la dose absorbée et du débit de dose absorbée . . . . .                                                                         | 10    |
| 6. Méthodes d'essai pour l'évaluation de la tenue aux rayonnements . . . . .                                                                     | 10    |
| SECTION DEUX — GUIDE POUR LES MÉTHODES DE<br>DOSIMÉTRIE DANS LE CAS DES RAYONNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES                                          |       |
| 7. Introduction . . . . .                                                                                                                        | 14    |
| 8. Méthodes absolues . . . . .                                                                                                                   | 14    |
| 9. Méthodes secondaires . . . . .                                                                                                                | 16    |
| 10. Classification des méthodes de mesure de la dose absorbée . . . . .                                                                          | 16    |
| SECTION TROIS — CALCUL DE LA DOSE ABSORBÉE DE RAYONNEMENT X OU GAMMA                                                                             |       |
| 11. Objet . . . . .                                                                                                                              | 18    |
| 12. Grandeurs et unités de rayonnement . . . . .                                                                                                 | 18    |
| 13. Calcul de la dose absorbée à partir d'une mesure d'exposition . . . . .                                                                      | 20    |
| 14. Calcul de la dose absorbée dans un matériau donné, à partir de celle absorbée dans un autre<br>matériau . . . . .                            | 22    |
| 15. Limites . . . . .                                                                                                                            | 24    |
| 16. Références . . . . .                                                                                                                         | 28    |
| ANNEXE A — Méthodes courantes recommandées pour la mesure de la dose absorbée de rayon-<br>nement électromagnétique dans les polymères . . . . . | 30    |
| ANNEXE B — Equilibre de particules chargées . . . . .                                                                                            | 36    |
| ANNEXE C — Calcul de la dose absorbée dans un matériau à partir d'une exposition mesurée . . . . .                                               | 38    |
| FIGURES . . . . .                                                                                                                                | 40    |

## CONTENTS

|                                                                                                                                               | Page |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| FOREWORD . . . . .                                                                                                                            | 5    |
| PREFACE . . . . .                                                                                                                             | 5    |
| Clause                                                                                                                                        |      |
| 1. Introduction . . . . .                                                                                                                     | 7    |
| 2. Scope and object . . . . .                                                                                                                 | 7    |
| SECTION ONE — PROBLEMS INVOLVED IN EVALUATING THE<br>RADIATION RESISTANCE OF ELECTRICAL INSULATING MATERIALS                                  |      |
| 3. Radiation-induced changes . . . . .                                                                                                        | 7    |
| 4. Evaluation of the radiation field . . . . .                                                                                                | 9    |
| 5. Evaluation of absorbed dose and absorbed dose-rate . . . . .                                                                               | 11   |
| 6. Test procedures for the evaluation of the radiation resistance . . . . .                                                                   | 11   |
| SECTION TWO — A GUIDE TO DOSIMETRY METHODS<br>FOR ELECTROMAGNETIC RADIATION                                                                   |      |
| 7. Introduction . . . . .                                                                                                                     | 15   |
| 8. Absolute methods . . . . .                                                                                                                 | 15   |
| 9. Secondary methods . . . . .                                                                                                                | 17   |
| 10. Tabulation of methods for measuring absorbed dose . . . . .                                                                               | 17   |
| SECTION THREE — CALCULATION OF ABSORBED DOSE<br>FROM X OR GAMMA RADIATION                                                                     |      |
| 11. Object . . . . .                                                                                                                          | 19   |
| 12. Radiation quantities and units . . . . .                                                                                                  | 19   |
| 13. Calculation of the absorbed dose from a measurement of exposure . . . . .                                                                 | 21   |
| 14. Calculation of absorbed dose in one material from that in another material . . . . .                                                      | 23   |
| 15. Limitations . . . . .                                                                                                                     | 25   |
| 16. References . . . . .                                                                                                                      | 29   |
| APPENDIX A — Current methods to be recommended for measuring absorbed dose of electro-<br>magnetic radiation in polymeric materials . . . . . | 31   |
| APPENDIX B — Charged particle equilibrium . . . . .                                                                                           | 37   |
| APPENDIX C — Calculation of absorbed dose in a material from a measured exposure . . . . .                                                    | 39   |
| FIGURES . . . . .                                                                                                                             | 40   |

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

## Première partie: Interaction des rayonnements

### 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'Etudes N° 15 de la CEI: Matériaux isolants.

Un premier projet fut discuté lors des réunions tenues à Varsovie en 1967 et à Londres en 1968. A la suite de cette dernière réunion, un projet, document 15B(Bureau Central)15, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en mars 1970. Des modifications, document 15B(Bureau Central)24, furent soumises à l'approbation des Comités nationaux suivant la Procédure des Deux Mois en mai 1972.

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

|                                |                                                  |
|--------------------------------|--------------------------------------------------|
| Afrique du Sud (République d') | Italie                                           |
| Allemagne                      | Japon                                            |
| Australie                      | Pays-Bas                                         |
| Autriche                       | Portugal                                         |
| Belgique                       | Roumanie                                         |
| Canada                         | Suède                                            |
| Danemark                       | Suisse                                           |
| Etats-Unis d'Amérique          | Tchécoslovaquie                                  |
| Finlande                       | Turquie                                          |
| France                         | Union des Républiques<br>Socialistes Soviétiques |
| Iran                           | Yougoslavie                                      |
| Israël                         |                                                  |

*Autre publication de la CEI citée dans la présente norme:*

Publication n° 216: Guide pour la détermination des propriétés d'endurance thermique de matériaux isolants électriques.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

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

**Part 1: Radiation interaction**

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 first draft was discussed at meetings held in Warsaw in 1967 and in London in 1968. As a result of this latter meeting, a draft, Document 15B(Central Office)15, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in March 1970. Amendments, Document 15B(Central Office)24, were submitted to the National Committees for approval under the Two Months' Procedure in May 1972.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

|                |                            |
|----------------|----------------------------|
| Australia      | Japan                      |
| Austria        | Netherlands                |
| Belgium        | Portugal                   |
| Canada         | Romania                    |
| Czechoslovakia | South Africa (Republic of) |
| Denmark        | Sweden                     |
| Finland        | Switzerland                |
| France         | Turkey                     |
| Germany        | Union of Soviet            |
| Iran           | Socialist Republics        |
| Israel         | United States of America   |
| Italy          | Yugoslavia                 |

*Other IEC publication quoted in this standard:*

Publication No. 216: Guide for the Determination of Thermal Endurance Properties of Electrical Insulating Materials.

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

## Première partie: Interaction des rayonnements

### 1. Introduction

Le but final du Sous-Comité 15B de la CEI, dans ses travaux sur la tenue aux rayonnements, consiste à établir des critères appropriés pour l'évaluation de la tenue des matériaux isolants aux rayonnements; il est très complexe. De tels critères dépendent en effet des conditions d'utilisation des matériaux. Par exemple, si un câble isolé doit être 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 de façon importante une ou plusieurs des propriétés mécaniques correspondantes. La température de fonctionnement et la composition de l'atmosphère environnante sont des facteurs importants qui déterminent également le taux et les mécanismes des transformations chimiques. Pour certaines applications, les modifications temporaires peuvent constituer le facteur limite.

A ce stade, le déroulement des travaux s'impose automatiquement. Tout d'abord, il convient de définir les champs de rayonnement auxquels les matériaux sont exposés et la dose de rayonnement qu'ils sont susceptibles d'absorber. Ensuite, il est 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 conditions d'utilisation.

Etant donné le nombre croissant de demandes de matériaux isolants destinés à fonctionner dans les milieux où ils sont soumis à des rayonnements ionisants de haute énergie, il a été jugé souhaitable d'établir des méthodes d'essai appropriées pour évaluer la tenue aux rayonnements de ces matériaux. Ces essais doivent évidemment s'appuyer sur une connaissance approfondie non seulement de l'action des rayonnements sur les matériaux isolants, mais aussi des mécanismes d'interaction des différents types de rayonnements (électromagnétiques, neutrons, électrons, etc.) avec la matière. Il est souhaitable de savoir, en particulier, si les effets produits par tous les types de rayonnements peuvent être évalués par l'utilisation d'un seul type tel que les rayons X, gamma ou les électrons de haute énergie. Le travail à effectuer portera tout d'abord sur les matériaux isolants organiques exposés à ces types de rayonnements.

### 2. Domaine d'application et objet

Cette partie de la norme constitue une introduction traitant de manière générale des problèmes rencontrés dans l'évolution des effets des rayonnements ionisants sur tous les types de matériaux isolants électriques. Elle fournit également un guide de terminologie en dosimétrie, ainsi que des méthodes de détermination de la dose d'exposition et de la dose absorbée et des méthodes de calcul de la dose absorbée.

## SECTION UN — PROBLÈMES LIÉS À L'ÉVALUATION DE LA TENUE AUX RAYONNEMENTS DES MATÉRIAUX ISOLANTS ÉLECTRIQUES

### 3. Modifications provoquées par le rayonnement

Bien que l'interaction des différents types de rayonnements et de la matière se fasse de différentes façons, le phénomène essentiel consiste dans la production d'ions et d'états d'excitation électronique

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

## Part 1: Radiation interaction

### 1. Introduction

The ultimate goal of the work of IEC Sub-Committee 15B on radiation resistance consists in establishing suitable criteria for the evaluation of the radiation resistance of insulating materials and is very complex, since such criteria will depend on the conditions under which the materials are used. For instance, if an insulated cable is to be 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 significantly one or more of the relevant mechanical properties. Temperature of operation and composition of the surrounding atmosphere are important factors which also determine the rate and mechanisms of chemical changes. In some applications, the temporary changes may be the limiting factor.

At this stage, the natural development of the work becomes apparent. First, it is necessary to define the radiation fields in which materials are exposed and the radiation dose subsequently absorbed by the material. Secondly, it is 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 view of the increasing number of applications for insulating materials to operate in an environment in which they will be subjected to the action of high energy ionizing radiation, it was deemed desirable that suitable test procedures should be devised in order to evaluate the radiation resistance of those materials. Such tests should, of course, be based upon a detailed knowledge not only of the effects of the radiations on insulating materials, but also of the mechanisms by which the different types of radiation (electromagnetic, neutrons, electrons, etc.) interact with matter. In particular, it is desirable to know whether the effects produced by all types of radiation can be assessed by the use of a single type such as X or gamma rays or high energy electrons. Work will first be concerned with organic insulating materials exposed to these types of radiation.

### 2. Scope and object

This part of the standard constitutes an introduction dealing very broadly with the problems involved in evaluating the effects of ionizing radiations on all types of electrical insulating materials. It also provides a guide to dosimetry terminology, methods of determining exposure and absorbed dose and methods of calculating absorbed dose.

## SECTION ONE — PROBLEMS INVOLVED IN EVALUATING THE RADIATION RESISTANCE OF ELECTRICAL INSULATING MATERIALS

### 3. Radiation-induced changes

Although the various types of radiation interact with matter in different ways, the primary process is the production of ions and electrically excited states of molecules, which in turn may lead to the

des molécules qui, à leur tour, peuvent entraîner la formation de radicaux libres. Les altérations chimiques qui en résultent sont caractéristiques des interactions et des réactions de ces entités et de la composition chimique du matériau considéré\*.

### 3.1 *Modifications permanentes*

Les effets permanents dus aux réactions chimiques varient avec la dose absorbée et sont, dans certaines circonstances, fonction du débit de dose absorbée. Souvent, ces effets dépendent des conditions d'environnement et des contraintes mécaniques exercées sur le matériau pendant l'irradiation. Il en résulte surtout une détérioration des propriétés mécaniques, fréquemment accompagnée de modifications importantes des caractéristiques électriques.

- 3.1.1 Pour la plupart des applications électriques, il se peut que la détérioration des propriétés mécaniques constitue le critère essentiel pour l'évaluation de la tenue aux rayonnements. Toutefois, une modification du facteur de dissipation ou de la permittivité peut être très grave, par exemple dans un circuit résonnant.

### 3.2 *Modifications temporaires*

Les effets temporaires des irradiations se manifestent surtout par des changements de propriétés électriques telles que la conductivité induite, tant pendant l'irradiation que pendant un certain temps après la fin de l'application de cette contrainte. Ces effets sont principalement fonction du débit de dose.

- 3.2.1 La conductivité, en courant continu, observée pendant l'irradiation est probablement en relation avec des électrons mobiles excités par le rayonnement absorbé. La persistance de l'effet pendant une longue durée après l'irradiation est attribuée à une partie des électrons produits par le rayonnement qui, pendant l'irradiation, est piégée en des sites où l'énergie potentielle est peu élevée. Ces électrons se libèrent lentement de leurs puits de potentiel et se combinent avec des cations ayant des charges de signe contraire.

## 4. **Evaluation du champ de rayonnement**

Pour les composés organiques, la dose absorbée constitue le paramètre principal puisque les effets observés sur de tels matériaux sont, dans la plupart des cas, proportionnels à l'énergie absorbée. Toutefois, il est habituellement plus commode de mesurer expérimentalement la densité de flux énergétique du champ de rayonnement, à partir duquel on peut ensuite calculer la dose absorbée. Pour les divers types de rayonnement, le champ de rayonnement est décrit de manière différente. Un champ de particules chargées ou un champ de neutrons est habituellement caractérisé par le débit de fluence. C'est le nombre de particules entrant dans une sphère de section unitaire par unité de temps. Lorsqu'il existe une distribution de l'énergie des particules, il y a lieu de donner des renseignements complémentaires concernant le spectre d'énergie. Un champ de rayonnement électromagnétique peut être défini de façon analogue au moyen de la densité de flux et de la distribution des énergies des photons. Pour les rayons X et gamma cependant il est d'usage de définir le champ par ses effets d'ionisation sur l'air. A cette fin, la CIUR \*\* a défini la quantité «exposition» dont l'unité est le röntgen (voir les paragraphes 7.2 et 12.2).

\* Voir les références (1), (2), (3), (4) et (5), page 28.

\*\* Commission Internationale des Unités et Mesures Radiologiques, voir les références (6), (7), (8), (9), (10), (11) et (12), page 28.

formation of free radicals. The subsequent chemical changes produced are characteristic of the interactions and reactions of these entities and of the chemical constitution of the material concerned.\*

### 3.1 *Permanent changes*

The permanent effects due to chemical reaction vary with the absorbed dose and in some circumstances are dependent on the absorbed dose-rate. Frequently, the effects are dependent on the environmental conditions and mechanical stresses acting on the material during the irradiation. They result predominantly in the deterioration of the mechanical properties, frequently associated with significant electrical changes.

- 3.1.1 For most electrical applications, it may well be that the deterioration of the mechanical properties will be the most significant criterion for the evaluation of radiation resistance. However, a change in the dissipation factor or in permittivity might be very serious, for instance in a resonant circuit.

### 3.2 *Temporary changes*

The temporary effects of irradiations appear primarily as changes in electrical properties such as induced conductivity, both during and for some time after irradiation. These effects are primarily dose-rate dependent.

- 3.2.1 The direct current conductivity observed during irradiation is probably associated with mobile electrons excited by the absorbed radiation. The persistence of the effect for a long time after irradiation is attributed to a fraction of radiation-generated electrons, which, during the irradiation, become trapped at sites of low potential energy. These slowly escape from their potential wells and recombine with oppositely charged cations.

## 4. **Evaluation of the radiation field**

For organic compounds, the absorbed dose is the parameter of primary importance since the radiation effects observed in such materials are in most cases proportional to the energy absorbed. However, it is usually more convenient experimentally to measure the energy flux density of the radiation field, from which the absorbed dose can then be calculated. For various types of radiation, the radiation field is described in different ways. A charged particle field or a neutron field is usually characterized in terms of the fluence rate. It is the number of particles entering a sphere of unit cross-sectional area per unit time. When the particles have a distribution of energies, additional information as to the energy spectrum is required. An electromagnetic radiation field may similarly be described in terms of photon flux density and energy distribution. However, for X rays and gamma rays it is customary to characterize the field in terms of its ionizing effect on air. For this purpose, the ICRU \*\* has defined the quantity "exposure", whose unit is the röntgen (see Sub-clauses 7.2 and 12.2).

\* See references (1), (2), (3), (4) and (5), page 29.

\*\* International Commission on Radiological Units; see references (6), (7), (8), (9), (10), (11) and (12), page 29.

- 4.1 Dans tous les cas, le but recherché est de définir le champ de rayonnement de façon à permettre le calcul de la dose absorbée dans un matériau quelconque placé dans le champ. Le premier objectif est donc de normaliser des méthodes en collaboration avec d'autres organismes tels que la CIUR \* pour la mesure des caractéristiques des champs de rayonnement auxquels des matériaux isolants sont appelés à être exposés. La section deux remplit cet objectif en présentant une liste des techniques de dosimétrie des rayonnements avec les références correspondantes.

## 5. Evaluation de la dose absorbée et du débit de dose absorbée

Des techniques ont été mises au point pour obtenir, à partir de mesures par détecteurs de rayonnement tels que chambres d'ionisation, calorimètres ou dosimètres chimiques, les données permettant de calculer la dose absorbée ou le débit de dose absorbée appliqué au matériau irradié. La section deux traite des techniques fiables et conventionnelles pour de telles mesures, alors que la section trois présente les facteurs dépendant du matériau et de l'énergie qu'il convient d'utiliser dans les calculs de dose absorbée ou de débit de dose absorbée à partir des résultats de mesure. La section trois est toutefois limitée au rayonnement des photons; une publication ultérieure étudiera les champs de rayonnements de particules chargées, de neutrons et les champs de rayonnements mixtes. Il existe une différence spécifique dans la nature des interactions produites par des neutrons d'énergie inférieure à 1 MeV. Dans ce cas, une large fraction de l'énergie est transférée par diffusion quasi élastique et par des transferts de charge, sans rapport avec les interactions dues au rayonnement photonique.

## 6. Méthodes d'essai pour l'évaluation de la tenue aux rayonnements

### 6.1 Effets permanents

Le but de la normalisation des méthodes d'essai est l'établissement de méthodes uniformes pour la détermination de la tenue relative des matériaux isolants aux rayonnements. Le critère d'aptitude à l'emploi peut être d'ordre mécanique et/ou électrique, suivant la fonction fondamentale du matériau dans son application industrielle.

Une autre publication sur ce sujet sera établie ultérieurement. Elle contiendra des données sur les sujets suivants:

#### 6.1.1 Types d'essais et d'échantillons

Comme l'indique la Publication 216 de la CEI, Guide pour la détermination des propriétés d'endurance thermique de matériaux isolants électriques: « Pour remplir leur rôle de façon satisfaisante, les matériaux isolants doivent présenter simultanément un ensemble de propriétés physiques, chimiques et diélectriques; celles-ci sont caractéristiques de chaque application ou de chaque forme d'isolation ». Ainsi, pour le polyéthylène, la mesure des propriétés mécaniques et électriques sur des échantillons en feuille serait suffisante pour déterminer les altérations dues au rayonnement tandis que les tubes en stratifié exigeraient un ensemble d'essais différent. Pour les fils émaillés, la flexion sur mandrin, l'abrasion et la tension de perforation appliquées sur une torsade peuvent constituer des techniques d'évaluation satisfaisantes.

#### 6.1.2 Conditions climatiques

Comme il est indiqué ci-dessus, la température de fonctionnement (pendant et après l'irradiation) ainsi que l'atmosphère (surtout l'oxygène et l'humidité) sont susceptibles de beaucoup influencer sur

\* Commission Internationale des Unités et Mesures Radiologiques, voir les références (6), (7), (8), (9), (10), (11) et (12).

- 4.1 In all cases, the objective is to characterize the radiation field in such a way that the absorbed dose in any material when placed in the field may be calculated. Our first objective is thus to describe standard methods and procedures in collaboration with other groups such as the ICRU \* — for measuring the characteristics of the radiation fields to which insulating materials have to be exposed. Section Two meets this objective by presenting a list of radiation dosimetry techniques with the relevant references.

## 5. Evaluation of absorbed dose and absorbed dose-rate

Techniques have been perfected to obtain — from measurements with radiation detectors such as ionization chambers, calorimeters or chemical dosimeters — the data from which the absorbed dose or absorbed dose-rate given to the material under irradiation may be calculated. Section Two deals with the reliable and conventional techniques of such measurements, while Section Three contains the material and energy-dependent factors to be used in calculations of absorbed dose or absorbed dose-rate from the measured data. Section Three, however, is restricted to photon radiation; a subsequent publication will consider charged particle radiation, neutrons and composite radiation fields. There is a specific difference in the nature of interactions produced by neutrons of less than 1 MeV. The large fraction of energy here is transferred in quasi-elastic scattering and charge transfer, and there is no relation to the interactions of photon radiation.

## 6. Test procedures for the evaluation of the radiation resistance

### 6.1 *Permanent effects*

The objective of standardizing test procedures is to provide uniform methods to be used in determining the relative radiation resistance of insulating materials. The performance index may be mechanical and/or electrical, depending on the basic function of the material in its engineering application.

Another publication covering this topic will be prepared at a later date. It will include a discussion of the following topics:

#### 6.1.1 *Types of tests and specimens*

As is stated in IEC Publication 216, Guide for the Determination of Thermal Endurance Properties of Electrical Insulating Materials: “To perform satisfactorily, insulating materials must have the required combination of physical, chemical and dielectric properties; and these are characteristic for each application or form of insulation.” Thus, for polyethylene, measurements of mechanical and electrical properties on sheet samples would be sufficient to characterize the radiation changes, while for laminated tubes a different system of tests would be necessary. For enamelled wires, the mandrel bend, abrasion and voltage breakdown on a twisted pair may be satisfactory evaluation techniques.

#### 6.1.2 *Environmental conditions*

As mentioned above, both the operating temperature (during and after irradiation) and the atmosphere (especially oxygen and moisture) can significantly influence the radiation effects.

---

\* International Commission on Radiological Units; see references (6), (7), (8), (9), (10), (11) and (12).

les effets du rayonnement. Cela peut être déduit du fait que chaque matériau réagit différemment à la température ; pour certains, la détérioration se trouve accélérée tandis que d'autres présentent une résistance plus élevée à la détérioration dans certaines gammes de température. La température est très importante en présence d'oxygène, puisque si la température est suffisamment élevée, les phénomènes normaux de l'oxydation thermique se produisent en plus de l'oxydation provoquée par le rayonnement, et les anti-oxydants qui peuvent être introduits dans l'isolation pour éviter ce phénomène dans des conditions plus normales peuvent avoir été rendus inefficaces par la radiolyse. La décision d'étudier simultanément l'endurance thermique et la tenue aux rayonnements est particulièrement pertinente au même titre qu'un certain nombre de principes énoncés dans la Publication 216 de la CEI.

L'oxygène peut avoir un effet plus important aux faibles débits de dose qu'aux débits élevés car il aura plus de temps pour diffuser. Il peut ainsi se produire qu'en cas d'irradiation à l'air libre, les résultats montrent de grandes différences entre irradiation de brève durée à débit de dose élevé et irradiation de longue durée à faible débit de dose, comme on le constate en pratique.

#### 6.1.3 Effets consécutifs à l'irradiation

Dans un certain nombre de polymères organiques peuvent se produire des effets consécutifs à l'irradiation qui sont imputables à la décroissance progressive de différents défauts tels que les radicaux libres résiduels. Lors de chaque évaluation, on doit tenir compte de ce type de comportement. Lorsque les essais ne peuvent pas être effectués pendant l'exposition, on doit effectuer des essais après l'irradiation à des intervalles déterminés, en maintenant les échantillons dans une atmosphère normale de laboratoire.

#### 6.2 Effets temporaires

La mesure de la conductivité induite est, en fait, très délicate car les photo-électrons et les électrons Compton dans les matériaux constituant l'électrode ont tendance à perturber le courant induit dans l'éprouvette elle-même. Le courant ionique dans l'atmosphère ionisée introduit également des erreurs de mesure si elles ne sont pas éliminées. Il convient de définir des méthodes de laboratoire éliminant la plupart des effets perturbateurs tout en restant relativement simples.

6.2.1 Les descriptions de différentes tentatives effectuées en vue d'éviter la nécessité coûteuse de mettre la cellule sous vide, et de trouver le meilleur matériau pour l'électrode et la meilleure configuration des éprouvettes, ont été publiées, mais les différentes méthodes devront être soigneusement étudiées avec des éprouvettes identiques avant qu'une recommandation ne soit proposée.

6.2.2 Lorsque les techniques les plus pratiques auront été clairement définies, on devra adopter un critère pour la sensibilité aux rayonnements. Il serait commode d'utiliser une grandeur simple telle que la conductivité induite  $\sigma_1$  par unité de débit de dose, ou  $\sigma_1/\sigma_0$  son rapport à la conductivité d'obscurité  $\sigma_0$  mesurée dans les mêmes conditions expérimentales (champ, température, milieu ambiant, etc.).

6.2.3 L'expérience a montré que la conductivité induite n'était généralement pas tout à fait proportionnelle au débit de dose absorbée (symbolisé par  $\dot{D}$ ) mais variait comme  $\dot{D}^\alpha$ , facteur dans lequel  $\alpha$  est inférieur à l'unité. Par conséquent la sensibilité aux rayonnements est définie par la relation  $\sigma_1 = k\dot{D}^\alpha$ . Pour déterminer  $k$  et  $\alpha$  au moins deux mesures sont nécessaires. Une autre complication provient du fait que  $k$  et  $\alpha$  dépendent également de la dose intégrée absorbée par l'échantillon. Cela illustre la complexité du problème qui constitue le but ultime de la présente publication et fera l'objet d'une publication ultérieure.

Indications are that each material is affected differently by temperature, with some showing accelerated degradation while others have a greater resistance to degradation in certain temperature ranges. The temperature is also important when oxygen is present, since when the temperature is high enough the normal processes of thermal oxidation will occur in addition to radio-oxidation, and such anti-oxidants which might have been included in the insulation to prevent this under more normal circumstances may have been inactivated by radiolysis. The decision to consider thermal and radiation resistance together is therefore particularly relevant, as are a number of the principles set forth in IEC Publication 216.

Oxygen may have a greater effect at a lower dose-rate than at a higher one because it will have more time to diffuse. Thus, it may happen that, in case of irradiation in free air on some materials, there are great differences in the results between short-time irradiation with high dose-rate and long-time irradiations with low dose-rate, as occurs in practice.

#### 6.1.3 *Post-irradiation effects*

In a number of organic polymers, there may be post-irradiation effects attributable to the gradual decay of various defects, such as residual free radicals. Due allowance should be made for this type of behaviour in any evaluation procedure. Where tests cannot be performed during the exposure, they should be made at recorded intervals after irradiation, maintaining specimen storage in a standard laboratory atmosphere.

#### 6.2 *Temporary effects*

The measurement of the induced conductivity is actually quite delicate, since photo-electrons and Compton electrons in the electrode materials will tend to perturb the intrinsic induced current of the specimen. Ionic current through the ionized atmosphere will also introduce errors in the measurement if they are not eliminated. Experimental procedures eliminating most of the disturbing effects, while remaining relatively simple, should be defined.

6.2.1 Descriptions of several attempts to avoid the costly necessity for evacuating the cell and to find the best electrode material and sample configuration have been published, but the various procedures should be carefully evaluated with identical samples before any recommendation can be offered.

6.2.2 Once the most practical techniques are clearly defined, a criterion for radiation sensitivity should be adopted. It would be convenient to use a simple figure, such as the induced conductivity ( $\sigma_i$ ) per unit dose-rate, or  $\sigma_i/\dot{D}$ , its ratio to the dark conductivity ( $\sigma_o$ ) measured in the same experimental conditions (field, temperature, ambience, etc.).

6.2.3 Experience has shown that the induced conductivity is usually not quite proportional to the absorbed dose-rate (symbolized as  $\dot{D}$ ), but varies as  $\dot{D}^\alpha$ , where  $\alpha$  is smaller than unity. Hence, the radiation sensitivity is described by the relation  $\sigma_i = k\dot{D}^\alpha$ . To determine  $k$  and  $\alpha$ , at least two measurements are needed. Further complication occurs from the fact that  $k$  and  $\alpha$  also depend on the integrated dose absorbed by the sample.

This illustrates the complexity of the problem which constitutes the ultimate goal of this publication and will be discussed in a subsequent publication.