

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

RAPPORT DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

IEC REPORT

Publication 610

Première édition — First edition

1978

---

**Principaux aspects de l'évaluation fonctionnelle  
des systèmes d'isolation électriques:  
Mécanismes de vieillissement et procédures de diagnostic**

---

**Principal aspects of functional evaluation  
of electrical insulation systems:  
Ageing mechanisms and diagnostic procedures**

---



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Yvermûé  
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'activités 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.

### 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.

**Symboles graphiques et littéraires**

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

- la Publication 27 de la CEI: Symboles littéraires 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 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.

**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 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

RAPPORT DE LA C.E.I.

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

IEC REPORT

Publication 610

Première édition — First edition

1978

---

**Principaux aspects de l'évaluation fonctionnelle  
des systèmes d'isolation électriques:  
Mécanismes de vieillissement et procédures de diagnostic**

---

**Principal aspects of functional evaluation  
of electrical insulation systems:  
Ageing mechanisms and diagnostic procedures**

---



Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

Aucun extrait de cette publication ne peut être reproduit ni utilisé sous  
quelque forme que ce soit et par aucun procédé, mécanique ou électro-  
nique, y compris la photographie et les microfilms, sans l'autorisation écrite 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 Varemé  
Genève, SuissePrix  
Price Fr. s. 25

## SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE . . . . .	4
PRÉFACE . . . . .	4
Articles	
1. Domaine d'application et introduction . . . . .	6
2. Mécanismes de vieillissement et leur vérification . . . . .	6
2.1 Généralités. Vérification des mécanismes de vieillissement liés au service . . . . .	6
2.2 Investigations sur le système d'isolation lui-même . . . . .	8
2.3 Mesures relatives aux facteurs de vieillissement . . . . .	10
2.4 Evaluation des résultats d'essais . . . . .	14
3. Techniques de diagnostic . . . . .	14
TABIEAU 1 — Procédures de diagnostic . . . . .	18

## CONTENTS

	Page
FOREWORD . . . . .	5
PREFACE . . . . .	5
Clause	
1. Scope and introduction . . . . .	7
2. Ageing mechanisms and their verification . . . . .	7
2.1 General: Verification of service-related ageing mechanisms . . . . .	7
2.2 Investigations on the insulation system itself . . . . .	9
2.3 Measurements related to the ageing factors . . . . .	11
2.4 Evaluation of test results . . . . .	15
3. Diagnostic techniques . . . . .	15
TABLE 1 - Diagnostic procedures . . . . .	19

## COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**PRINCIPAUX ASPECTS DE L'ÉVALUATION FONCTIONNELLE  
DES SYSTÈMES D'ISOLATION ÉLECTRIQUES:  
MÉCANISMES DE VIEILLISSEMENT ET PROCÉDURES DE DIAGNOSTIC**

## PRÉAMBULE

- 1) Les décisions et 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, ses recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'adhésion 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

Ce rapport a été établi par le Comité d'Etudes N° 63 de la CEI: Systèmes d'isolation.

La préparation du premier projet fut entreprise par le Groupe de Travail 6 en 1974. Ce projet fut discuté lors de la réunion que le Comité d'Etudes N° 63 a tenue à La Haye en 1975. A la suite de cette réunion, le document 63(Bureau Central)8 fut soumis aux Comités nationaux pour approbation suivant la Règle des Six Mois, en novembre 1975.

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

Afrique du Sud (République il)	Japon
Australie	Pays-Bas
Autriche	Pologne
Belgique	Roumanie
Bésil	Suède
Canada	Suisse
Danemark	Tchécoslovaquie
Etats-Unis d'Amérique	Turquie
France	Union des Républiques
Israël	Socialistes Soviétiques

Ce rapport contient les informations de base, prévues pour être utilisées en vue de la préparation des procédures d'évaluation et d'identification des systèmes d'isolation. Il est destiné au premier chef à être utilisé par les Comités d'Etudes de Matériaux de la CEI.

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**PRINCIPAL ASPECTS OF FUNCTIONAL EVALUATION  
OF ELECTRICAL INSULATION SYSTEMS:  
AGEING MECHANISMS AND DIAGNOSTIC PROCEDURES**

## 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 report has been prepared by IEC Technical Committee No. 63, Insulation Systems.

Work on the first draft was initiated by Working Group 6 in 1974. The draft was discussed at the meeting of Technical Committee No. 63 held in The Hague in 1975. As a result of this meeting, Document 63(Central Office)8 was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in November 1975.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Netherlands
Austria	Poland
Belgium	Romania
Brazil	South Africa (Republic of)
Canada	Sweden
Czechoslovakia	Switzerland
Denmark	Turkey
France	Union of Soviet Socialist Republics
Israel	
Japan	United States of America

This report contains background information intended for use in connection with the drafting of procedures for the evaluation and identification of insulation systems. It is primarily intended for use by IEC Equipment Technical Committees.



## PRINCIPAUX ASPECTS DE L'ÉVALUATION FONCTIONNELLE DES SYSTÈMES D'ISOLATION ÉLECTRIQUES: MÉCANISMES DE VIEILLISSEMENT ET PROCÉDURES DE DIAGNOSTIC

### 1. Domaine d'application et introduction

Ce rapport décrit brièvement les mécanismes de vieillissement des systèmes d'isolation et les méthodes destinées à s'assurer de la correspondance entre les vieillissements en cours d'essai et en service réel. Une liste de techniques de diagnostic pouvant être utilisées dans les essais fonctionnels est également donnée.

Lorsque les performances d'un système d'isolation sont évaluées au moyen d'essais fonctionnels accélérés, des résultats trompeurs peuvent être obtenus si les mécanismes de vieillissement dans les conditions d'essais diffèrent de ceux en service réel. Le risque de telles erreurs s'accroît lorsque les contraintes de vieillissement sont augmentées par rapport à leurs niveaux en service. L'équivalence des mécanismes de vieillissement durant l'essai et dans les conditions de service doit être vérifiée par le Comité d'Études de Matériels.

L'importance de telles procédures de vérification s'accroît avec le degré d'intensification de la contrainte. Des considérations concernant la méthode de vérification sont données à l'article 2.

Les méthodes de diagnostic, qui sont particulièrement sensibles pour apprécier les modifications de comportement des échantillons en essai, peuvent présenter l'avantage de permettre l'introduction d'essais sous des contraintes relativement moins intensifiées pour déterminer l'évolution des caractéristiques du système ou sa vitesse de vieillissement.

On doit reconnaître que les procédures d'essais fonctionnels peuvent nécessiter le choix d'un critère de fin de vie arbitraire qui ne correspond pas à la rupture réelle de l'appareil. Cet aspect est en cours d'étude.

Des méthodes de diagnostic sont énumérées à l'article 3.

### 2. Mécanismes de vieillissement et leur vérification

#### 2.1 Généralités: Vérification des mécanismes de vieillissement liés au service

Différentes façons d'aborder cette question sont:

- 1) l'évaluation du système d'isolation lui-même;
- 2) les mesures relatives aux contraintes de vieillissement;
- 3) les vérifications liées à l'évaluation des résultats d'essais.

Les modifications de l'éprouvette et les produits résultant de sa dégradation sont surveillés par des méthodes de diagnostic convenables. Celles-ci sont sélectionnées (voir la liste à l'article 3) d'après la connaissance ou les hypothèses concernant les processus physiques et chimiques mis en jeu par les facteurs de vieillissement.

Ces modifications peuvent affecter:

- la structure de l'isolation;
- ses propriétés électriques;
- ses propriétés mécaniques;
- + sa composition chimique et la libération de constituants et de produits de dégradation;
- son aspect visuel ou ses propriétés optiques, etc.

## PRINCIPAL ASPECTS OF FUNCTIONAL EVALUATION OF ELECTRICAL INSULATION SYSTEMS: AGEING MECHANISMS AND DIAGNOSTIC PROCEDURES

### 1. Scope and introduction

This report briefly describes mechanisms of ageing of insulation systems and methods for ascertaining correspondence of ageing in tests and in actual service. Diagnostic techniques for use in functional tests are also listed.

When the performance of an insulation system is evaluated by accelerated functional tests, misleading results may be obtained if the ageing mechanisms under the conditions of the test differ from those in actual service. The risk of such errors increases as the ageing stresses are intensified in relation to their levels in service. The equivalence of the ageing mechanisms in the test and in service must be verified by the Equipment Technical Committee.

The importance of such verification procedures increases with the degree of stress intensification. Considerations regarding the methodology of verification are given in Clause 2.

Diagnostic methods, which are especially sensitive in ascertaining changes in the test specimen's condition, may have the advantage that tests at relatively less intensified stresses can be included to determine the trend of the system's characteristics or ageing rate.

It must be recognized that functional test procedures may require the selection of an arbitrary end-point criterion which does not correspond to actual apparatus failure. This aspect is under consideration.

Diagnostic methods are reviewed in Clause 3.

### 2. Ageing mechanisms and their verification

#### 2.1 *General: Verification of service-related ageing mechanisms*

Different approaches to this aspect are:

- 1) assessment of the insulation system itself;
- 2) measurements related to the ageing stresses;
- 3) checks in connection with the evaluation of test results.

Changes of the specimen and degradation products emanating from it are monitored by suitable diagnostic methods. These are selected (see list in Clause 3) in the light of knowledge or assumptions regarding the physical and chemical processes induced by the ageing factors.

Such changes may affect:

- the structure of the insulation;
- its electrical properties;
- its mechanical properties;
- its chemical composition and the liberation of constituents and degradation products;
- its visual appearance or optical properties, etc.

Des déterminations convenables pourraient être effectuées pour vérifier que les contraintes de vieillissement agissant sur l'éprouvette sont suffisamment représentatives des conditions de service. Ceci s'applique à toutes les sortes de facteurs de vieillissement utilisés pendant les essais d'évaluation (thermiques, électriques, d'environnement, mécaniques), qu'ils soient utilisés seuls, en séquence ou en combinaison.

Des informations utiles relatives aux mécanismes de vieillissement peuvent également être déduites des résultats d'essais. Une approche appropriée consiste à :

- analyser les relations temps-contrainte;
- établir la distribution des durées de vie pour un lot d'éprouvettes;
- comparer la localisation des ruptures à différents niveaux de contraintes et observer si elles apparaissent sous l'action de contraintes de vieillissement ou lorsqu'un facteur de diagnostic est appliqué.

## 2.2 *Investigations sur le système d'isolation lui-même*

### 2.2.1 *Investigations physiques*

Pendant le vieillissement, la mesure d'un état ou de propriétés physiques et la comparaison des résultats obtenus sous différents niveaux de contraintes et à des instants différents peuvent fournir des informations pertinentes sur le processus de vieillissement.

De telles propriétés sont surtout électriques ou mécaniques, et concernent aussi la structure interne de l'éprouvette d'essai. Par exemple, les modifications de structure peuvent être détectées grâce à un changement d'élasticité, de dureté, etc. L'intensité des décharges partielles peut être utile pour détecter ces changements dans la structure d'un système d'isolation.

Quand il s'agit d'un vieillissement électrique, et particulièrement à fréquence accrue, il est conseillé de déterminer les pertes diélectriques en fonction de la fréquence aux températures d'essais afin d'éviter un échauffement anormalement élevé dû aux pertes diélectriques pendant les essais de vieillissement. Dans certains cas, l'échauffement lié à la dissipation diélectrique pourrait conduire à une instabilité thermique et rendre le processus de vieillissement non représentatif du service réel. Ce genre de mécanisme peut apparaître même à fréquence industrielle, habituellement au niveau de température le plus élevé. En conséquence, il est possible qu'un réglage des fréquences d'essais ou l'introduction d'un régulateur de température soit nécessaire.

### 2.2.2 *Investigations chimiques*

L'analyse chimique des éprouvettes n'est pas une technique aussi générale que les investigations physiques, mais elle peut donner, dans certains cas, des informations utiles concernant le processus de vieillissement. Par exemple, le taux d'accroissement de l'acidité et le changement de nature des produits résultant de la dégradation peuvent être étroitement reliés au processus de vieillissement. Ceci s'applique aux systèmes d'isolation qui comportent un diélectrique liquide ou gazeux (par exemple SF<sub>6</sub>). De la même façon, la surveillance de la consommation d'antioxydants peut permettre de faire des comparaisons de vieillissements sous différents niveaux de contraintes. La solubilité de certaines éprouvettes peut donner des informations sur le processus de vieillissement.

Les taux de diffusion entre des constituants adjacents d'un système d'isolation et entre de tels constituants et l'environnement devraient être pris en considération. Un gaz isolant peut être pollué par le dégagement de composés provenant d'autres composants du système d'isolation ou de son contenant.

### 2.2.3 *Investigations physico-chimiques*

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées. Quelques exemples sont donnés ci-dessous.

Pour l'analyse des produits de dégradation gazeux formés pendant le vieillissement, la méthode d'investigation la plus largement répandue est la chromatographie en phase gazeuse, éventuellement combinée à la spectrométrie de masse. De l'hydrogène, des oxydes de carbone et des hydrocarbures

Suitable determinations should be made to verify that the ageing stresses acting on the test specimen are sufficiently representative of the service conditions. This applies to all kinds of ageing factors used during evaluation tests (thermal, electrical, environmental, mechanical), whether they are used alone, in sequence or in combination.

Useful information regarding ageing mechanisms may be derived from the test results. Suitable approaches are:

- analyzing the stress-time relationships;
- checking the distribution of the times to end point within a batch of specimens;
- comparing the failure locations at various stress levels and observing whether they occur under the action of ageing stresses or when a diagnostic factor is applied.

## 2.2 *Investigations on the insulation system itself*

### 2.2.1 *Physical investigations*

During ageing, the measurement of some physical state or property and the comparison of results obtained at various stress levels and at various times may yield pertinent information on the ageing process.

Such properties are mainly electrical or mechanical, and concern also the internal structure of the test object. For example, structural changes can be detected by a change in elasticity, hardness, etc. Partial discharge intensity may be of value to detect changes in the structure of an insulation system.

When electrical ageing is involved, particularly at increased frequency, it is advisable to determine dielectric loss as a function of frequency at the test temperatures in order to avoid abnormally high dielectric heating during ageing tests. In some cases dielectric heating could lead to thermal instability and make the ageing process unrepresentative of actual service. This kind of mechanism can occur even at the power frequency, usually at the higher level of temperature. Adjusting the test frequencies or introducing temperature control may therefore be required.

### 2.2.2 *Chemical investigations*

Chemical analysis of test specimens is not so general a technique as physical investigations, but in some cases it can give useful information concerning the ageing process. For example, the rate of increase of acidity and the change in the nature of the products of degradation may be closely related to the ageing process. This applies to insulation systems which include a liquid or gaseous (e.g. SF<sub>6</sub>) dielectric. In a similar way, monitoring the consumption of anti-oxidants can allow comparisons of ageing at different stress levels to be made. Solubility of certain specimens may give information on the ageing process.

The rates of diffusion among adjacent components of an insulation system and between such components and the environment ought to be taken into consideration. An insulating gas may be contaminated by the release of compounds from other components of the insulation system or from its container.

### 2.2.3 *Physico-chemical investigations*

Several methods can be applied. Some examples are given below.

In the analysis of gaseous degradation products during ageing, the most widely used method of investigation is gas chromatography, possibly in combination with mass spectroscopy. Hydrogen, carbon oxides and light hydrocarbons are to be found among gaseous products of degradation which

légers sont généralement parmi les produits gazeux de dégradation formés à partir des matériaux organiques. A l'exception des contraintes mécaniques, qui généralement ne produisent pas de dégagement gazeux, les produits de dégradation ne dépendent pas, dans la plupart des cas, de la nature des contraintes appliquées. Les produits de dégradation particuliers rencontrés fournissent des indications sur l'énergie réelle dissipée au niveau moléculaire, sous l'action de la contrainte appliquée.

Le fait que certains produits de dégradation existent ou n'existent pas peut être significatif d'un changement dans le processus de vieillissement. En particulier, lorsque la contrainte au niveau moléculaire s'accroît, les produits de dégradation tendent à être plus insaturés (par exemple, acétylène, propyne, etc.). A certains niveaux de contraintes, des produits insaturés entièrement nouveaux peuvent apparaître et le rapport des produits insaturés aux produits saturés augmenter aux plus hauts niveaux de contrainte.

Le vieillissement peut être aussi reflété par un changement du degré de cristallinité d'un polymère.

La spectrophotométrie infrarouge peut révéler la formation de nouveaux groupes structuraux dans les matériaux isolants.

Des méthodes d'analyse thermique, par exemple l'analyse thermique différentielle (ATD), ou la calorimétrie différentielle à balayage, révèlent des changements de température de transformation physique qui peuvent être indicatifs d'un vieillissement.

La microscopie optique est utilisée pour mettre en évidence des variations de microstructure dans les isolations à base de polymères.

La microscopie électronique à balayage est utilisée pour mettre en évidence la structure superficielle et ses modifications provoquées par le vieillissement.

D'autres changements, par exemple le degré de polymérisation ou la variation de masse, peuvent également donner des indications sur le vieillissement.

### 2.3 Mesures relatives aux facteurs de vieillissement

Les renseignements fournis dans la Publication 505 de la CIE: Guide pour l'évaluation des systèmes d'isolation du matériel électrique, concernent principalement les facteurs de vieillissement pris isolément. Des complications supplémentaires apparaissent lors de l'application simultanée de plus d'un facteur, même si un seul facteur est intensifié.

#### 2.3.1 Vieillissement thermique

Lorsque la température, par son niveau, est le principal facteur de vieillissement, la méthode de chauffage doit conduire à une distribution de température appropriée à l'intérieur de l'éprouvette. L'attention est attirée sur le paragraphe 3.3.4.2 de la Publication 505 de la CIE concernant les gradients de température.

Les gradients de température affectent la diffusion et peuvent être eux-mêmes affectés par l'échauffement électrique. Ces effets devront être pris en considération lorsque l'essai sera préparé et il est possible que l'éprouvette d'essai doive être refroidie.

La répartition prévue de la température au sein de l'éprouvette devra être vérifiée.

Les échantillons sont couramment vieillis en étuve où les températures sont pratiquement uniformes. La corrélation entre cette température de vieillissement et les distributions de températures attendues en service peut être importante à établir.

#### 2.3.2 Vieillissement électrique

Différentes méthodes de mesure sont disponibles pour vérifier l'état électrique d'une éprouvette.

L'enregistrement de l'amplitude et des distributions dans le temps des décharges partielles est un outil de diagnostic puissant. La comparaison de telles distributions, sous des niveaux de centralites

are formed from organic materials. Except for mechanical stresses, which usually do not generate gases, the degradation products are, in most cases, not dependent upon the kind of stress involved. The particular degradation products encountered are indicative of the actual energy dissipated at the molecular level under the action of the applied stress.

The fact that certain degradation products exist or do not exist can be representative of a change in the ageing process. In particular, as the stress at the molecular level increases, the products of degradation tend to be more unsaturated (for instance, acetylene, propyne, etc.). At some stress levels, entirely new unsaturated products can appear, and the ratio of unsaturated products to saturated products may increase at the higher stress level.

Ageing may also be reflected by a change in the degree of crystallinity of a polymer.

Infra-red spectrophotometry may reveal the formation of new structural groups in insulating materials.

Thermal analysis methods, for instance differential thermal analysis (DTA) or differential scanning calorimetry (DSC), reveal changes of physical transformation temperatures which may be indicative of ageing.

Optical microscopy is applied to reveal changes of the microstructure in polymer insulation.

Scanning electron microscopy is applied to reveal surface structure and its changes caused by ageing.

Other changes, for instance degree of polymerization or change of weight, may also be indicative of ageing.

### 2.3 *Measurements related to the ageing factors*

The observations contained in IEC Publication 505, Guide for the Evaluation and Identification of Insulation Systems of Electrical Equipment, primarily concern single ageing factors. Additional complications arise with the simultaneous application of more than one factor, even if only one factor is intensified.

#### 2.3.1 *Thermal ageing*

When the temperature level is the main ageing factor, the heating method should provide for an appropriate temperature distribution within the specimen. Attention is drawn to IEC Publication 505, Sub-clause 3.3.4.2 concerning temperature gradients.

Temperature gradients influence diffusion and they may be affected by dielectric heating. These effects should be taken into consideration when designing the test, and the test specimen may require cooling.

The intended temperature distribution in the test specimen should be verified.

Specimens are commonly aged in an oven where temperatures tend to be uniform. Correlation of this ageing temperature with expected operating temperature distributions may be important.

#### 2.3.2 *Electrical ageing*

Various measuring methods are available to check the electrical state of a test specimen.

The recording of amplitude and time distributions of partial discharges is a powerful diagnostic tool. Comparison of such distributions at test and service levels of the electrical stress may provide



électriques correspondant d'une part aux essais et d'autre part au service, peut fournir une vérification de la validité de l'intensification à la fois en niveau et en fréquence. Si, au-dessus d'un certain niveau de tension, des décharges partielles se produisent avec des amplitudes nettement supérieures à celles apparaissant en service normal, la validité de ces résultats d'essais doit être soigneusement examinée.

L'accroissement de la tension entraîne des conséquences différentes selon les conditions. Dans une petite cavité, l'amplitude des impulsions de décharges partielles et la surface affectée ne changeront pas, mais le nombre d'impulsions par unité de temps changera par paliers. Dans un intervalle d'épaisseur constante, la taille des impulsions peut ne pas varier jusqu'à une certaine limite de tension, mais la répartition géométrique des sites de décharges changera.

Les bords d'une petite cavité plate peuvent être plus fortement exposés aux décharges que l'intérieur. Dans des cavités irrégulières, des régions exposées diffèrent selon la tension appliquée. De plus, les décharges individuelles peuvent changer de caractéristiques du fait de l'augmentation des décharges tangentielles secondaires.

Les pertes diélectriques en fonction de la tension, la décharge maximale par cycle, l'indication de l'analyseur de pertes diélectriques et le débit quadratique des charges apparentes fournissent des caractéristiques qui permettent un jugement d'ensemble de l'intensité des décharges partielles.

On sait que, dans certains cas, des décharges partielles de faible amplitude peuvent entraîner une dégradation significative, comparativement à celle due à des décharges plus importantes, ceci dépendant du milieu dans lequel elles se produisent.

Actuellement, les mesures de décharges partielles ne peuvent pas encore être corrélées avec certitude au phénomène d'arborescence.

La dégradation électrolytique devra être reliée au niveau de température et d'humidité. Une telle dégradation a été observée même avec du courant alternatif.

### 2.3.3 *Vieillessement dû à l'environnement*

Il faut noter que, dans de nombreux types de matériels, les gaz et/ou les liquides font partie du système d'isolation.

On doit faire attention à ne pas permettre aux produits de dégradation, y compris l'eau, de s'accumuler sur ou autour des éprouvettes d'essais, en quantités considérablement plus importantes que celles qui peuvent être rencontrées dans les conditions de service.

Lorsqu'un système d'isolation est conçu pour être utilisé dans un environnement particulier (gaz ou liquide), les procédures d'essais devront prendre l'environnement en considération. Des modifications dans l'environnement produisent souvent des changements dans le mécanisme de dégradation; de tels changements devraient être évités. Par exemple: changer l'environnement gazeux peut affecter à la fois l'intensité et le mécanisme de dégradation chimique des décharges partielles.

### 2.3.4 *Vieillessement mécanique*

Dans un vieillissement mécanique, lorsqu'une vibration est appliquée, on devra vérifier que la répartition de la contrainte est suffisamment représentative et que des résonances n'apparaissent pas sans être explicitement recherchées.

Si des contraintes thermomécaniques transitoires entrent en jeu, il faudra prendre en considération non seulement la vitesse de variation de la température appliquée, mais aussi la vitesse de propagation de l'onde de chaleur à l'intérieur de l'éprouvette.

Il faudra veiller à ce que l'accélération d'essais thermiques ou mécaniques provoque ou ne provoque pas de mouvements relatifs entre les constituants de l'objet en essai, en fonction de ce qui se produit ou non en service.

a verification of the validity of the intensification both in level and in frequency. If above a certain voltage level partial discharges occur with amplitudes significantly higher than in actual service, the validity of these test results must be carefully considered.

Increasing the voltage has different consequences under different conditions. In a small void, the amplitude of the partial discharge pulses and the affected area will not change, but the number of pulses per unit time changes in a stepwise manner. In a gap with constant thickness, the pulse size may not vary greatly up to a certain voltage limit, but the geometrical distribution of pulse sites will change.

The edges of a flat, thin void may be more heavily subjected to discharges than the interior. In irregular cavities, different regions are exposed at different voltages. Moreover, the individual discharges may change in character by increasing secondary tangential discharges.

Dielectric losses as a function of voltage, the maximum discharge per cycle, the indication of the dielectric loss analyzer and the quadratic rate of apparent charges provide characteristics which permit an overall judgement of partial discharge intensity.

It is known that in some cases low-amplitude partial discharges can have a significant degrading effect compared with the effect of larger discharges, depending on the medium in which they occur.

At present, partial discharge measurements still cannot be unequivocally correlated with the phenomenon of *freeing*.

Electrolytic degradation should be related to the temperature and humidity level. Such degradation has been observed even with alternating current.

### 2.3.3 *Environmental ageing*

It should be noted that in many types of equipment, gases and/or liquids are part of the insulation system.

Care should be taken to prevent products of degradation, including water, from accumulating on or around the test objects in quantities considerably in excess of those that may occur under service conditions.

When an insulation system is designed to be used in a particular environment (gas or liquid), test procedures should take the environment into account. Changes of the environment often produce changes in the degradation mechanism, and such changes should be avoided. For example, changing the gaseous environment may affect both the intensity and the chemical degrading mechanism of partial discharges.

### 2.3.4 *Mechanical ageing*

In mechanical ageing, when vibration is applied, it should be verified that the stress distribution is sufficiently representative and that resonances do not occur unless explicitly desired.

If transient thermo-mechanical stresses are involved, not only the rate of change of the applied temperature should be considered but also the rate of propagation of the thermal wave within the specimen.

Care should be taken to ensure that thermal or mechanical test acceleration does or does not cause relative motions between components of the test object, as is the case in service.



## 2.4 *Évaluation des résultats d'essais*

### 2.4.1 *Relations temps-contrainte*

Si les résultats d'essais à différents niveaux de contraintes sont transcrits de manière à donner une courbe de durée de vie, le fait que celle-ci diffère de celle qu'on pouvait attendre par une étude théorique du mécanisme de vieillissement, si elle existe, ou encore par une expérience précédente satisfaisante, suggère un changement du mécanisme de vieillissement.

Un changement visible de pente aux niveaux supérieurs des contraintes est clairement indicatif d'un changement dans le mécanisme de vieillissement. Lorsque la pente de la courbe varie notablement aux niveaux de contrainte plus élevée, on ne devra pas tenir compte des résultats obtenus à ces niveaux lors de l'évaluation définitive du système d'isolation.

### 2.4.2 *Distributions statistiques*

Il peut arriver que la distribution des temps individuels jusqu'à la rupture à l'intérieur d'un lot puisse être clairement interprétée comme appartenant à deux ou plusieurs distributions différentes. Dans de tels cas, les éprouvettes suspectes devront être examinées pour rechercher des défauts possibles. Si des différences physiques entre les éprouvettes ne sont pas révélées, l'ensemble du lot doit être étudié en entier. Ceci peut influencer la décision concernant la méthode appropriée d'analyse statistique à employer.

La condition d'élimination de résultats d'essai est l'identification d'anomalies dans les éprouvettes, c'est-à-dire que le but d'une évaluation est de déterminer les caractéristiques d'une bonne isolation.

### 2.4.3 *Localisation des ruptures*

Un examen des éprouvettes après l'essai peut fournir une information pertinente. Si la fin de vie consiste en un affaiblissement observable ou une rupture de l'éprouvette d'essai, sa localisation peut être indicative d'un changement dans le processus de vieillissement. Des conclusions relatives à la rigidité diélectrique des éprouvettes peuvent parfois être tirées, si la localisation des ruptures peut être reliée à la répartition géométrique des contraintes de vieillissement.

La rupture peut apparaître soit sous la contrainte réelle de vieillissement soit pendant l'application d'une contrainte de diagnostic. Cette recherche de défauts est valable principalement si la perforation apparaît sous une contrainte mécanique ou électrique.

*Exemple.* — Si aux niveaux supérieurs de la contrainte électrique, pour des essais d'endurance à la tension, la plupart des ruptures apparaissent au niveau de l'arête d'une électrode alors que la répartition des localisations des ruptures aux plus basses contraintes est aléatoire, ceci peut indiquer un changement dans le mécanisme de vieillissement. Cependant, ceci n'implique pas nécessairement que l'un ou l'autre type de rupture soit caractéristique des ruptures en service.

## 3. *Techniques de diagnostic*

Toutes les méthodes d'évaluation de l'état des éprouvettes et de détection des mécanismes de vieillissement devront avoir un effet de vieillissement faible comparé à celui résultant de l'essai. Des procédures de diagnostic pour surveiller les propriétés des systèmes d'isolation en service ou pendant les essais de vieillissement peuvent être classées de la façon suivante:

- 1) non destructives;
- 2) entraînant une destruction possible;
- 3) destructives.

Dans les essais non destructifs, la contrainte a un effet négligeable sur le vieillissement.

Les essais entraînant une destruction possible sont ceux qui ont une influence faible sur le vieillissement s'ils sont effectués périodiquement comme essais de courte durée. Si une contrainte

## 2.4 *Evaluation of test results*

### 2.4.1 *Stress-time relationships*

If test results at different stress levels are evaluated to give a life curve, its deviation from the form expected on the basis of a theory for the ageing mechanism, if this exists, or possibly of previous satisfactory experience, suggests a change of ageing mechanism.

A discerned change of slope at higher stress levels is clearly indicative of a change in the ageing mechanism. When the slope of the curve changes substantially at higher stress levels, the results at those levels should be disregarded in the final evaluation of the insulation system.

### 2.4.2 *Statistical distributions*

It may occur that the distribution of the individual times-to-failure within a batch can be clearly interpreted as belonging to two or more different distributions. In such cases, suspect specimens should be examined for possible defects. If physical differences among the specimens are not revealed, the whole batch must be considered together. This may affect the decision concerning the appropriate type of statistical analysis to be employed.

The condition for deletion of test values is the identification of abnormalities in the specimens, i.e. the purpose of the evaluation is to determine the characteristics of good insulation.

### 2.4.3 *Location of failures*

Inspection of the specimens after the test may provide pertinent information. If the end of life consists in an observable weakening or rupture of the test specimen, its location may be indicative of a change in the ageing process. Conclusions can sometimes be drawn concerning the dielectric strength of specimens if the location of the punctures is known with respect to the geometrical distribution of the ageing stresses.

Failure may occur either under the actual ageing stress or during application of a diagnostic stress. This inspection for defects applies principally when a failure occurs under a mechanical or electrical stress.

*Example.* — If at higher levels of voltage stress, for voltage endurance tests, most failures occur at the edge of an electrode and the distribution of puncture locations at lower stresses is random, this may indicate a change in ageing mechanism. However, it should not necessarily be inferred that either type of failure is characteristic of service failures.

## 3. *Diagnostic techniques*

All methods for the assessment of the state of specimens and for the detection of ageing mechanisms should be of low ageing effect compared with the ageing in the test. Diagnostic procedures for the monitoring of properties of insulation systems during service or ageing tests may be categorized in the following way:

- 1) non-destructive;
- 2) possibly destructive;
- 3) destructive.

In non-destructive tests, the stress has a negligible effect on ageing.

Possibly destructive tests are those with low influence on ageing if used as short-time tests for periodic application. If any stress of possibly destructive character is used for continual monitoring

quelconque entraînant une destruction possible est utilisée pour une vérification continue du vieillissement, on doit démontrer que son influence sur le vieillissement est négligeable, comparée au vieillissement attendu sous l'action des autres facteurs.

Les procédures de diagnostic destructives seront utilisées comme utilères de fin de vie ou comme un moyen de déterminer la variation d'une caractéristique de matériaux, telle que la rigidité diélectrique, la résistance mécanique en fonction de la durée de vieillissement.

Si des procédures de diagnostic destructives sont utilisées et si les résultats d'essais sont évalués statistiquement, il est nécessaire qu'un nombre suffisant d'éprouvettes soit essayé jusqu'à la destruction.

Une liste de quelques procédures de diagnostic possibles est donnée dans le tableau I.

of ageing, it has to be demonstrated that its influence on ageing is negligible compared with the intended ageing by other factors.

Destructive diagnostic procedures are to be used as end-point criteria, or as a means of determining the trend of a material's characteristic, such as electric strength, or mechanical strength, with time of ageing.

If destructive diagnostic procedures are to be used and the test results are to be statistically evaluated, a sufficient number of specimens should be tested to destruction.

A list of some possible diagnostic procedures is provided in Table I.

TABLEAU I  
Procédures de diagnostic

Type d'essai	Référence	Nature de l'essai		
		Non destruct.	Destruct. possible	Destruct.
<b>1. Électrique</b>				
1.1 Résistance d'isolement	CEI 167	X		
1.2 Courant de polarisation ou de dépolarisation diélectrique en fonction du temps		X		
1.3 Perméabilité	CEI 250	X		
1.4 Pertes diélectriques et variations en fonction de la tension et/ou de la fréquence	CEI 250	X		
1.5 Résistivité superficielle	CEI 93	X		
1.6 Décharges partielles: tension d'apparition et d'extinction; amplitude; nombre; débit quadratique	CEI 270	X		
1.7 Propriétés diélectriques en fonction de la température (points 1.1 à 1.6)		X		
1.8 Résistance au clouage	CEI 112		X	X
1.9 Eprouves sous tension de service			X	
1.9.1 Tension continue			X	
1.9.2 Tension alternative			X	
1.9.3 Tension impulsionnelle			X	
1.10 Eprouves en surtension (indépendantes du type de tension de service)			X	
1.10.1 Tension continue			X	
1.10.2 Très basse fréquence (0,1 Hz)			X	
1.10.3 Tension alternative (50/60 Hz et fréquences d'essai supérieures)			X	
1.10.4 Essai demi-onde			X	
1.10.5 Essai de chute			X	
1.10.6 Essai haute fréquence avec oscillations amorties			X	
1.11 Essai de surtension en régime de ou maintien jusqu'à la rupture				X
<b>2. Physique et mécanique</b>				
2.1 Dureté		X		
2.2 Elasticité		X		
2.3 Rigidité		X		
2.4 Traction			X	X
2.5 Flexion			X	X
2.6 Torsion			X	X
2.7 Allongement			X	X
2.8 Compression			X	X
2.9 Vibration			X	X
2.10 Résistance aux chocs			X	X
2.11 Fréquence de résonance et amortissement		X		
2.12 Adhérence				X
2.13 Détermination des contraintes internes				X
2.14 Perte de masse		X		
<b>3. Chimique</b>				
3.1 Analyse des produits de dégradation				
3.1.1 Chromatographie en phase gazeuse		X		
3.1.2 Spectrométrie de masse		X		
3.2 Analyse des composants du système				
3.2.1 Spectrophotométrie infrarouge		X		
3.2.2 Diffraction des rayons X		X		
3.3 Influence de l'ambiance (humidité, poussière, etc.)	CEI 68		X	
<b>4. Examen visuel</b>				
4.1 Évaluation de la couleur et de ses variations		X		
4.2 État de surface (lisse ou rugueux)		X		
4.3 Dépôt d'huile, d'humidité ou d'autres polluants		X		
4.4 Localisation et aspect des ruptures		X		
4.5 Dimensions, tailles		X		
4.6 Dissémination			X	
4.7 Examen microscopique			X	
4.8 Examen microscopique			X	

TABLE I  
Diagnostic procedures

Type of test	Reference	Nature of test		
		Non-destruct.	Pos.-destruct.	Destr.
<b>1. Electrical</b>				
1.1 Insulation resistance	IEC 167	×		
1.2 Dielectric polarization or depolarization current versus time		×		
1.3 Dielectric constant	IEC 250	×		
1.4 Dielectric losses and their variation with voltage and/or frequency		×		
1.5 Surface resistivity	IEC 93	×		
1.6 Partial discharges: inception and extinction voltage; amplitudes; number; quadratic rate	IEC 270	×		
1.7 Dielectric properties as a function of temperature (items 1.1 to 1.6)		×		
1.8 Tracking resistance	IEC 112		×	×
1.9 Service voltage proof tests				
1.9.1 Direct voltage			×	
1.9.2 Alternating voltage			×	
1.9.3 Impulse voltage			×	
1.10 Overvoltage proof tests (independent of type of service voltage)				
1.10.1 Direct voltage			×	
1.10.2 Very low frequency (0.1 Hz)			×	
1.10.3 Alternating voltage (50 Hz/60 Hz and higher test frequencies)			×	
1.10.4 Half-wave test			×	
1.10.5 Impulse test			×	
1.10.6 High-frequency test with damped oscillations			×	
1.11 Overvoltage test increased or maintained until breakdown				×
<b>2. Physical — Mechanical</b>	IEC 68			
2.1 Hardness		×		
2.2 Elasticity		×		
2.3 Stiffness		×		
2.4 Tension			×	×
2.5 Bending			×	×
2.6 Torsion			×	×
2.7 Elongation			×	×
2.8 Compression			×	×
2.9 Vibration			×	×
2.10 Impact			×	×
2.11 Resonance frequency and damping		×		×
2.12 Bond strength				×
2.13 Determination of internal stresses				×
2.14 Weight loss		×		
<b>3. Chemical</b>				
3.1 Analysis of products of degradation				
3.1.1 Gas chromatography		×		
3.1.2 Mass spectrometry		×		
3.2 Analysis of components of the system				
3.2.1 Infra-red spectrophotometry		×		
3.2.2 X-ray diffraction		×		
3.3 Ambient influence (humidity, dust, etc.)	IEC 68		×	
<b>4. Visual inspection</b>				
4.1 Evaluation of colour and colour changes		×		
4.2 Surface condition (smooth or rough)		×		
4.3 Deposit of oil, humidity, or other contaminations		×		
4.4 Location and appearance of failures		×		
4.5 Dimensions, size		×		
4.6 Dissection			×	
4.7 Macroscopic inspection			×	
4.8 Microscopic inspection			×	

**Autres publications de la CIEI préparées par  
le Comité d'études N° 63**

- 505 (1973) Guide pour l'évaluation et l'identification des systèmes d'isolation du matériel électrique.  
611 (1978) Guide pour la préparation de procédures d'essai pour l'évaluation de l'endurance thermique des systèmes d'isolation électrique.

**Other IEC publications prepared  
by Technical Committee No. 63**

- 505 (1973) Guide for the evaluation and identification of insulation systems of electrical equipment.  
611 (1978) Guide for the preparation of test procedures for evaluating the thermal endurance of electrical insulation systems.

Publications 630