

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC
1359**

Première édition
First edition
1995-02

**Evaluation et identification des systèmes
d'isolation électrique –
Evaluation de l'environnement**

**Evaluation and identification of
electric insulation systems –
Environment evaluation**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 1359: 1995

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Validité de la présente publication

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

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Accès en ligne*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement (Accès en ligne)*

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Validity 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 relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

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

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
On-line access*
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates (On-line access)*

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

* See web site address on title page.

**RAPPORT
TECHNIQUE – Type 2
TECHNICAL
REPORT – Type 2**

**CEI
IEC
1359**

Première édition
First edition
1995-02

**Evaluation et identification des systèmes
d'isolation électrique –
Evaluation de l'environnement**

**Evaluation and identification of
electric insulation systems –
Environment evaluation**

© CEI 1995 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 3, rue de Varembe Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

N

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	8
 Articles	
1 Domaine d'application	10
2 Références normatives	10
3 Généralités	12
4 Reproduction de l'environnement opérationnel dans un essai fonctionnel	12
4.1 Observations générales	12
4.2 Environnement actif	12
4.3 Variations périodiques et leur simulation	14
4.4 Procédures d'essai séquentielles	14
4.5 Conditionnement	16
5 Facteurs environnementaux dans les procédures de vieillissement	16
5.1 Humidité	16
5.2 Oxygène	16
5.3 Produits chimiques	16
5.4 Agents biologiques	18
5.5 Exposition aux intempéries	18
5.6 Contaminants	20
5.7 Conditions environnementales spéciales	20
5.8 Conditions d'environnement sous rayonnements	20
6 Méthodes de vieillissement	22
6.1 Humidité	22
6.2 Produits chimiques	24
6.3 Agents biologiques	24
6.4 Exposition aux intempéries	24
6.5 Contaminants	24
7 Procédures de diagnostic	26
 Annexe A – Bibliographie	 28

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	9
Clause	
1 Scope	11
2 Normative references	11
3 General	13
4 Reproducing the operational environment in a functional test	13
4.1 General observations	13
4.2 The acting environment	13
4.3 Periodic variations and their simulation	15
4.4 Sequential test procedures	15
4.5 Conditioning	17
5 Environmental factors in ageing procedures	17
5.1 Moisture	17
5.2 Oxygen	17
5.3 Chemicals	17
5.4 Biological agents	19
5.5 Weathering	19
5.6 Contaminants	21
5.7 Special environmental conditions	21
5.8 Radiation environmental conditions	21
6 Ageing procedures	23
6.1 Moisture	23
6.2 Chemicals	25
6.3 Biological agents	25
6.4 Weathering	25
6.5 Contaminants	25
7 Diagnostic procedures	27
Annex A – Bibliography	29

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ÉVALUATION ET IDENTIFICATION DES SYSTÈMES D'ISOLATION ÉLECTRIQUE – ÉVALUATION DE L'ENVIRONNEMENT

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par les comités d'études 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.
- 3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La tâche principale des comités d'études de la CEI est d'élaborer des Normes internationales. Exceptionnellement, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique de l'un des types suivants:

- type 1, lorsque, en dépit de maints efforts, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une Norme internationale;
- type 2, lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique ou lorsque, pour une raison quelconque, la possibilité d'un accord pour la publication d'une Norme internationale peut être envisagée pour l'avenir mais pas dans l'immédiat;
- type 3, lorsqu'un comité d'études a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur l'état de la technique.

Les rapports techniques de types 1 et 2 font l'objet d'un nouvel examen trois ans au plus tard après leur publication afin de décider éventuellement de leur transformation en Normes internationales. Les rapports techniques de type 3 ne doivent pas nécessairement être révisés avant que les données qu'ils contiennent ne soient plus jugées valables ou utiles.

La CEI 1359, rapport technique de type 2, a été établie par le comité d'études 63 de la CEI: Systèmes d'isolation.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**EVALUATION AND IDENTIFICATION
OF ELECTRIC INSULATION SYSTEMS –
ENVIRONMENT EVALUATION**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international cooperation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, 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.
- 3) They have the form of recommendations for international use published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. In exceptional circumstances, a technical committee may propose the publication of a technical report of one of the following types:

- type 1, when the required support cannot be obtained for the publication of an International Standard, despite repeated efforts;
- type 2, when the subject is still under technical development or where for any other reason there is the future but not immediate possibility of an agreement on an International Standard;
- type 3, when a technical committee has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

Technical reports of types 1 and 2 are subject to review within three years of publication to decide whether they can be transformed into International Standards. Technical reports of type 3 do not necessarily have to be reviewed until the data they provide are considered to be no longer valid or useful.

IEC 1359, which is a technical report of type 2, has been prepared by IEC technical committee 63: Insulating systems.

Le texte de ce rapport technique est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
63(BC)34	98(BC)1

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de ce rapport technique.

Le présent document est publié dans la série des rapports techniques de type 2 (conformément au paragraphe G.4.2.2 de la partie 1 des Directives CEI/ISO) comme norme prospective d'application provisoire dans le domaine des systèmes d'isolation électrique car il est urgent d'avoir des indications sur la meilleure façon d'utiliser les normes dans ce domaine afin de répondre à un besoin déterminé.

Ce document ne doit pas être considéré comme une Norme internationale. Il est proposé pour une mise en oeuvre provisoire, dans le but de recueillir des informations et d'acquérir de l'expérience quant à son application dans la pratique. Il est de règle d'envoyer les observations éventuelles relatives au contenu de ce document au Bureau Central de la CEI.

Il sera procédé à un nouvel examen de ce rapport technique de type 2 trois ans au plus tard après sa publication, avec la faculté d'en prolonger la validité pendant trois autres années, de la transformer en Norme internationale ou de l'annuler.

L'annexe A est donnée uniquement à titre d'information.

The text of this technical report is based on the following documents:

Six Months' Rule	Report on voting
63(CO)34	98(CO)1

Full information on the voting for the approval of this technical report can be found in the report on voting indicated in the above table.

This document is issued in the type 2 technical report series of publications (according to G.4.2.2 of part 1 of the IEC/ISO Directives) as a "prospective standard for provisional application" in the field of electrical insulation systems because there is an urgent requirement for guidance on how standards in this field should be used to meet an identified need.

This document is not to be regarded as an "International Standard". It is proposed for provisional application so that information and experience of its use in practice may be gathered. Comments on the content of this document should be sent to the IEC Central Office.

A review of this type 2 technical report will be carried out not later than three years after its publication, with the options of either extension for a further three years or conversion to an International Standard or withdrawal.

Annex A is for information only.

INTRODUCTION

Les performances du système d'isolation de nombreux types de matériel électrique sont affectées de manière significative par l'environnement où ils opèrent. Des directives appropriées pour l'évaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation sont présentées dans les précédentes publications préparées par le CE 63, mais on s'est rendu compte que les comités d'études de matériel qui décident de préparer des normes pour l'évaluation de l'endurance de l'isolation de leurs produits avaient besoin de directives plus spécifiques. C'est l'objet du présent rapport technique.

En liaison avec la révision de la CEI 505, toutes les publications de la CEI préparées par le CE 63 deviendront parties (et sections) d'une seule série 505.

La classification des environnements opérationnels du matériel électrique est traitée dans les publications de la CEI préparées par le CE 75, et les méthodes pour les essais d'endurance environnementale du matériel électrique sont décrites dans les publications de la CEI préparées par le CE 50 (particulièrement SC 50B), voir annexe A, [2] et [3].

On entend par effets «environnementaux» des environnements autres que les atmosphères normalisées de laboratoire spécifiées dans la CEI 212 (voir annexe A, [1]).

INTRODUCTION

The performance of the insulation system of many kinds of electrical equipment is significantly affected by the operating environment. Pertinent guidelines to the functional evaluation of insulation systems are contained in earlier publications prepared by TC 63, but it was realized that equipment technical committees who decide to prepare standards for the evaluation of the endurance of the insulation of their products need more specific guidelines. This is the purpose of this technical report.

In connection with the revision of IEC 505, all IEC publications prepared by TC 63 will become parts (and sections) of a single IEC 505 series.

The classification of the operational environments of electrical equipment is dealt with in IEC publications prepared by TC 75, and methods for environmental endurance testing of electrical equipment are described in IEC publications prepared by TC 50 (notably SC 50B), see annex A, [2] and [3].

When speaking of environmental effects, this is understood to comprise environments other than the normal standard laboratory atmospheres specified in IEC 212 (see annex A, [1]).

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 1359 © IEC:1995

ÉVALUATION ET IDENTIFICATION DES SYSTÈMES D'ISOLATION ÉLECTRIQUE – ÉVALUATION DE L'ENVIRONNEMENT

1 Domaine d'application

Le présent rapport technique fournit un guide pour les comités d'études de matériel afin de les assister dans le développement de méthodes d'évaluation fonctionnelle pour les systèmes d'isolation de leur matériel particulier. Il traite spécifiquement des effets de l'environnement dans l'évaluation fonctionnelle.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour le présent Rapport technique. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur le présent rapport technique sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 85: 1984, *Evaluation et classification thermiques de l'isolation électrique*

CEI 505: 1975, *Guide pour l'évaluation et l'identification des systèmes d'isolation du matériel électrique*

CEI 611: 1978, *Guide pour la préparation de procédures d'essai pour l'évaluation de l'endurance thermique des systèmes d'isolation électrique*

CEI 727-1: 1982, *Evaluation de l'endurance électrique des systèmes d'isolation électrique – Première partie: Considérations générales et procédures d'évaluation basées sur une distribution normale*

CEI 791: 1984, *Evaluation des performances de systèmes d'isolation à partir de l'expérience en service et des résultats d'essais fonctionnels*

CEI 792-1: 1985, *Essais fonctionnels à plusieurs facteurs de systèmes d'isolation électrique – Première partie: Procédures d'essai*

CEI 941: 1988, *Essais fonctionnels d'endurance mécanique des systèmes d'isolation électrique*

Un certain nombre d'autres normes internationales qui fournissent des méthodes d'exposition ou de caractérisation de l'isolation, sont citées dans la bibliographie donnée en annexe A. Les références à ces méthodes sont comprises comme exemples dans le texte suivant.

EVALUATION AND IDENTIFICATION OF ELECTRIC INSULATION SYSTEMS – ENVIRONMENT EVALUATION

1 Scope

This technical report provides a guide for IEC equipment technical committees to assist them when developing functional evaluation procedures for insulation systems of their particular equipment. It deals specifically with the effects of environment in functional evaluation.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this technical report. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision and parties to agreements based on this technical report are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 85: 1984, *Thermal evaluation and classification of electrical insulation*

IEC 505: 1975, *Guide for the evaluation and identification of insulation systems of electrical equipment*

IEC 611: 1978, *Guide for the preparation of test procedures for evaluating the thermal endurance of electrical insulation systems*

IEC 727-1: 1982, *Evaluation of electrical endurance of electrical insulation systems – Part 1: General considerations and evaluation procedures based on normal distributions*

IEC 791: 1984, *Performance evaluation of insulation systems based on service experience and functional tests*

IEC 792-1: 1985, *The multi-factor functional testing of electrical insulation systems – Part 1: Test procedures*

IEC 941: 1988, *Mechanical endurance functional tests for electrical insulation systems*

A number of other International Standards that provide methods of exposure or characterization of insulation are listed in the bibliography given in annex A. References to these methods are included as examples in the following text.

3 Généralités

Les performances du ou des systèmes d'isolation d'un matériel particulier peuvent être affectées de diverses manières par les facteurs environnementaux. Les facteurs environnementaux peuvent produire directement une dégradation de l'isolation. Ils peuvent également influencer de différentes manières le type et le degré de la dégradation, qui est causée principalement par d'autres facteurs d'influence. Plusieurs exemples de telles combinaisons de facteurs et des effets résultants sont donnés dans l'article 6 de la CEI 792-1. Une liste de facteurs environnementaux est donnée dans l'annexe B de la CEI 505.

Une autre conséquence importante de l'environnement, qui s'ajoute à l'aspect vieillissement, est la redistribution des contraintes dans une isolation affectée par les conditions environnementales. Un exemple est la réduction de la rigidité diélectrique d'une barrière d'isolation crevassée, lorsque la condensation cause la formation de chemins conducteurs. Un autre exemple est la séquence des phénomènes produisant un cheminement et l'érosion de surfaces d'isolation polluées et humides, en conséquence de la formation de bandes sèches et de scintillations.

4 Reproduction de l'environnement opérationnel dans un essai fonctionnel

4.1 Observations générales

Dans la modélisation des facteurs environnementaux dans un essai fonctionnel, les points suivants sont de particulière importance:

- identification de ou des environnements à l'emplacement des parties isolantes [*environnement(s) critique(s)*];
- identification de la présence de vieillissement environnemental ou d'une interaction multifactorielle due à des facteurs environnementaux;
- accélération de l'essai soit par l'intensification d'un facteur, soit par l'accroissement de la fréquence d'exposition cyclique, ou les deux.

4.2 Environnement actif

Si la performance d'une partie isolante dans ou sur une partie de matériel est affectée par l'environnement, c'est son *environnement local immédiat* qui importe. Cette assertion tout à fait évidente a parfois des conséquences moins évidentes en ce qui concerne un bon choix des conditions d'essai.

L'*emplacement* du matériel pendant le fonctionnement peut faire que son environnement *extérieur* immédiat diffère des conditions *extérieures générales* à cet endroit. Une installation *abritée* admettra l'air extérieur mais peut fournir une protection contre le rayonnement solaire direct et les précipitations atmosphériques. L'installation dans un *immeuble* fournira un certain degré d'isolation vis-à-vis de l'environnement extérieur. Des mesures spéciales sont requises pour une protection effective contre l'environnement extérieur, telles que (dans un ordre de complexité et de protection croissantes):

- chauffage;
- conditionnement d'air;
- établissement de conditions de salle blanche, etc.

3 General

The performance of the insulation system(s) of particular equipment may be affected in various ways by environmental factors. Environmental factors may directly produce degradation of insulation. They may also influence in various ways the kind and degree of degradation, which is primarily caused by other factors of influence. Several examples of such factor combinations and the resulting effects are given in clause 6 of IEC 792-1. A listing of environmental factors is given in appendix B of IEC 505.

Another important consequence of the environment, additional to the ageing aspect, is the redistribution of stresses in an insulation affected by environmental conditions. An example is the reduction of the dielectric strength of a cracked insulation barrier when condensation causes the formation of conducting paths. Another example is the sequence of phenomena producing tracking and erosion of wet polluted insulation surfaces, as a consequence of dry-band formation and scintillations.

4 Reproducing the operational environment in a functional test

4.1 General observations

In the modelling of environmental factors in a functional test the following concerns are of particular importance:

- identification of the environment(s) at the location of the insulating part(s) [*critical environment(s)*];
- identification of the presence of environmental ageing, or of multi-factor interaction due to environmental factors;
- test acceleration by either factor intensification, or by increasing the frequency of cyclic exposure, or both.

4.2 The acting environment

If the performance of an insulating part in or on a piece of equipment is affected by the environment, then it is its *immediate local environment* that matters. This very obvious statement sometimes has less obvious consequences with regard to a good selection of test conditions.

The *location* of the equipment during operation may result in its immediate *external* environment differing from the *general outdoor* conditions at that place. A *sheltered* installation will admit the external air, but may provide protection against direct solar radiation and atmospheric precipitation. Installation in a *building* will provide some degree of isolation from the outdoor environment. Special measures are required for an effective protection against the outdoor environment, such as (in order of increasing complexity and protection):

- heating;
- air conditioning;
- establishment of clean-room conditions, etc.

Le matériel situé à l'intérieur peut non seulement être exposé à des niveaux réduits des facteurs environnementaux extérieurs, mais en outre à de nouveaux facteurs environnementaux engendrés à l'intérieur de l'immeuble. De tels facteurs peuvent résulter, par exemple, de processus industriels sur les mêmes lieux. On trouve facilement des exemples dans l'industrie du ciment, la métallurgie, l'industrie textile et l'industrie chimique.

Si le matériel a une enveloppe imperméable, des essais effectués sur celle-ci n'auront aucun effet sur le matériel.

L'enveloppe hermétique d'un matériel électrique élimine les problèmes causés par les effets environnementaux extérieurs. Cependant, des problèmes peuvent se poser même dans un matériel complètement clos, lorsque des espèces actives sont engendrées à l'intérieur de l'enveloppe pendant le fonctionnement normal du matériel ou par des événements parasites. Par exemple, des décharges partielles dans du matériel HT peuvent engendrer des agents chimiques corrosifs dans les postes à isolation gazeuse (PIG) et dans le matériel rempli de liquide. Un autre exemple est une machine à courant continu totalement close dans laquelle les arcs de balai et l'usure peuvent produire des concentrations d'ozone actif chimiquement et de la poussière de charbon. Ces matières peuvent causer une dégradation de l'isolation et des problèmes de cheminement dans la machine. L'huile provenant de la graisse dans une machine à courant continu peut aider à maintenir en place la poussière de charbon.

4.3 Variations périodiques et leur simulation

Les variations saisonnières et diurnes de l'environnement extérieur donnent, à un degré plus ou moins élevé suivant le niveau de protection, des variations cycliques correspondant à des conditions environnementales à l'emplacement de l'isolation du matériel.

En l'absence d'encapsulage complet, le risque de condensation périodique devrait toujours être considéré. La «respiration» causée par les variations périodiques de température peut engendrer un mouvement unidirectionnel de contamination particulaire, de l'extérieur vers l'intérieur du matériel qui n'est pas hermétiquement clos.

Lorsque ces effets sont simulés dans des essais fonctionnels, l'accélération peut être obtenue par une réduction de la durée du cycle. Une limitation est toutefois donnée par l'inertie thermique et les constantes de diffusion de l'objet d'essai et de ses parties.

4.4 Procédures d'essai séquentielles

L'évaluation de l'endurance environnementale du ou des systèmes d'isolation d'un matériel de *conception protégée* peut être organisée de manière séquentielle en étapes séparées. Un premier essai peut être spécifié pour révéler si l'isolation prévue par la conception exclut ou réduit l'accès à l'isolation de certains agents environnementaux externes (par exemple, la contamination particulaire) à un niveau inoffensif. Si c'est le cas, on peut se dispenser du second essai de vieillissement ou du moins le simplifier. Sinon, il faut exécuter ce second essai de vieillissement, qui normalement est plus compliqué et consommateur de temps. Cette approche a été introduite pour l'évaluation fonctionnelle de parties isolantes dans l'appareillage sous enveloppe à moyenne tension (voir annexe A, [4]).

Equipment at indoor locations may not only be exposed to reduced levels of outdoor environmental factors, but also to new environmental factors generated inside the building. Such factors may, for example, result from industrial processes on the same premises. Examples are easily found in the cement industry, metallurgy, textile industry and chemical process industry.

If the equipment has an impermeable enclosure, tests of the housing will have no effect on the equipment.

The hermetic enclosure of electrical equipment eliminates problems caused by external environmental effects. Problems may, however, arise even in completely enclosed equipment, when active species are generated inside the enclosure during the normal operation of the equipment, or by spurious events. As examples, partial discharges in HV equipment can generate corrosive chemical agents in gas insulated substations (GIS), and in liquid filled equipment. Another example is a totally enclosed d.c. machine in which brush arcing and wear can generate chemically active ozone concentrations and carbon dust. These materials can lead to insulation degradation and tracking problems within the machine. The oil from the grease in a d.c. machine may help hold the carbon dust in place.

4.3 *Periodic variations and their simulation*

The seasonal and diurnal variations of the outdoor environment result, to a higher or lower degree depending on the level of protection, in corresponding cyclic variations of the environmental conditions at the location of the equipment insulation.

In the absence of complete encapsulation, the risk of periodic condensation ought always to be considered. The "breathing" caused by periodic temperature variations may cause a unidirectional motion of particulate contamination from the outside to the inside of equipment that is not hermetically enclosed.

When these effects are simulated in functional tests, acceleration may be obtained through reduction of the cycle duration. A limitation is, however, given by the thermal inertia and diffusion constants of the test object and its parts.

4.4 *Sequential test procedures*

The evaluation of the environmental endurance of the insulation system(s) of equipment of a *protected design* may be sequentially arranged into separate steps. A primary test may be specified to reveal whether the isolation provided by the design excludes, or reduces, the ingress to the insulation of certain external environmental agents (for example particulate contamination) to an innocuous level. If this is found to be the case, the secondary ageing test may be dispensed with, or at least simplified. Otherwise, the secondary ageing test, which normally is more complicated and time-consuming, must be performed. This approach has been introduced for the functional evaluation of insulating parts in enclosed medium-voltage switchgear and controlgear (see annex A, [4]).

4.5 Conditionnement

Ayant établi la *nature* de l'environnement ou de l'isolation électrique, il est alors nécessaire d'établir les effets de l'environnement sur l'isolation. Ces effets peuvent être différents suivant que les agents environnementaux agissent sur la *masse* de l'isolation, sur ses *surfaces*, ou sur les *interfaces* entre matériaux isolants et autres parties. Il faut garder cela à l'esprit non seulement dans la conception des objets d'essai, mais également dans la programmation des traitements de conditionnement et des procédures de vieillissement (voir article 6).

5 Facteurs environnementaux dans les procédures de vieillissement

5.1 Humidité

Des matériaux différents absorbent diverses quantités d'eau, et la présence d'eau absorbée peut affecter les matériaux de différentes manières. Des réactions chimiques peuvent se produire entre les ions de l'eau et l'isolation (*hydrolyse*) menant à sa destruction finale.

Les propriétés mécaniques peuvent être altérées par l'humidité dans une certaine mesure. Les propriétés électriques changent notablement avec l'absorption d'humidité. En particulier, la rigidité diélectrique des matériaux varie fortement avec l'eau absorbée en raison d'une redistribution des figures de contrainte électrique et de pertes diélectriques accrues. La moiteur comme la forte humidité, la pluie, le gel et la neige sont également des facteurs cruciaux dans la chaîne des événements amenant au contournement, au cheminement et à l'érosion des surfaces de l'isolation.

Un effet de synergétique peut se produire entre le champ électrique et l'humidité dans quelques polymères pour former des excroissances en forme d'arbre communément dénommées *arborescences aqueuses*.

5.2 Oxygène

Les propriétés mécaniques et électriques des matériaux polymériques peuvent être réduites par une oxydation accélérée par de hautes températures ou par le rayonnement ultraviolet venant du soleil dans une certaine mesure, même à température ambiante. Généralement, l'oxydation produit des changements qui mènent soit à un matériau durci, rigide ou à une masse plastique ou visqueuse. En partant de la surface, certains matériaux continueront à durcir et certains à se ramollir, et certains présenteront un durcissement initial suivi par un ramollissement. Tous ces processus sont irréversibles. Le degré d'oxydation sera affecté par des facteurs tels que le type de polymère, le genre et la densité de réticulation, la teneur en additifs tels que antioxydants et charges, la vitesse d'accès de l'oxygène à la place considérée, etc.

5.3 Produits chimiques

L'attaque par des produits chimiques peut amener une détérioration des possibilités physiques et électriques de l'isolation. Même en l'absence de tels effets, il peut se produire une détérioration d'autres parties du matériel.

Des considérations similaires s'appliquent dans les essais fonctionnels de systèmes d'isolation à plusieurs composants, où les produits de dégradation en provenance d'un matériau composant peuvent endommager d'autres matériaux ou le matériel en essai.

4.5 Conditioning

Having established the *nature* of the environment surrounding the electrical insulation, it is then necessary to establish the effects of the environment on the insulation. These effects can be different, depending on whether the environmental agents act on the *bulk* of the insulation, on its *surfaces*, or on *interfaces* between insulating materials and other parts. This should be borne in mind, not only in the design of the test objects, but equally when scheduling conditioning treatments and ageing procedures (see clause 6).

5 Environmental factors in ageing procedures

5.1 Moisture

Different materials absorb various amounts of water, and the presence of absorbed water may affect materials in different ways. Chemical reactions can take place between the ions of water and the insulation (*hydrolysis*) resulting in its eventual destruction.

Mechanical properties can be impaired by moisture to some extent. Electrical properties change noticeably with moisture absorption. In particular, the dielectric strength of materials varies greatly with absorbed water, due to a redistribution of the electric stress pattern and increased dielectric losses. Moisture as high humidity, rain, ice and snow also are crucial factors in the chain of events leading to flashover, tracking, and erosion on insulation surfaces.

A synergistic effect can occur between the electric field and moisture in some polymers to produce tree-like growths, commonly referred to as *water trees*.

5.2 Oxygen

Mechanical and electrical properties of polymeric materials can be reduced by oxidation accelerated by high temperature, or by ultraviolet radiation from the sun to some extent, even at room temperature. Generally, oxidation will induce changes, which result either in a hardened, rigid material, or in a plastic or viscous mass. Starting from the surface, some materials will continue to harden and some to soften, and some will show an initial hardening followed by softening. All are irreversible processes. The degree of oxidation will be affected by factors such as the type of polymer, kind and density of cross-linkage, content of additives, such as antioxidants and fillers, the rate of ingress of oxygen to the place under consideration, etc.

5.3 Chemicals

Attack by chemicals may result in deterioration of the physical and electrical capability of the insulation. Even in the absence of such effects, deterioration of other parts of the equipment may be produced.

Similar considerations apply in the functional testing of multi-component insulation systems, where degradation products from one material component can damage other materials, or the test equipment.

Il convient de prendre des précautions supplémentaires, en choisissant un matériau sur la base de données de classement de performances obtenues dans des tables de résistance chimique. Dans beaucoup de cas, ces classements ont été tirés de l'évaluation du matériau en tant que produit pur. Des défaillances de certains matériaux ont été reliées aux effets nuisibles résultant des interactions de produits chimiques, bien que ces matériaux aient été reconnus acceptables pour un service spécifique avec des expositions à chacun des produits chimiques individuels en question. Cet avertissement s'applique également dans le cas de matériaux précisément définis, et non juste vaguement désignés par leur type générique («polyéthylène», «époxyde»).

De même, les tables de résistance chimique consistent habituellement en données obtenues avec des éprouvettes d'essai sans ou sous faible charge mécanique. Fréquemment, des tendances à la fissuration sous contrainte lors de l'application d'une charge mécanique ne sont pas prises en considération, et des effets synergétiques adverses, semblables à l'effet bien connu ozone-tension mécanique dans le caoutchouc naturel, peuvent être oubliés.

NOTE – Des essais de compatibilité servent à révéler de telles interactions au cours du développement d'un système d'isolation avec des exigences spécifiques en service.

5.4 Agents biologiques

Il est reconnu qu'il ne faut pas laisser se développer des bactéries ou des micro-organismes de moisissures sur une isolation polymérique parce qu'ils peuvent utiliser le matériau comme milieu de culture, et lentement, détruire l'isolation chimiquement, mécaniquement et enfin électriquement. Les polymères eux-mêmes sont généralement résistants à l'attaque des bactéries et des moisissures, en ce qu'ils ne servent pas de source de carbone pour la croissance, bien qu'il y ait de notables exceptions telles que les uréthanes à base de polyester. Ce sont habituellement les autres constituants utilisés dans les compositions isolantes, tels que les plastifiants, les lubrifiants, les colorants, les stabilisants et les additifs de fabrication, qui sont susceptibles d'attaque biologique. Il est donc important d'établir la résistance à l'attaque biologique dans des conditions favorables à l'attaque, à savoir des conditions chaudes et humides.

5.5 Exposition aux intempéries

L'exposition aux intempéries affecte tous les matériaux dans une certaine mesure et inclut les effets de variations de température et d'humidité, de la pluie, de la neige, du gel, du vent, des contaminants dans l'atmosphère et la chaleur et le rayonnement ultraviolet du soleil. Dans de telles conditions, la surface d'un matériau isolant peut être modifiée de façon permanente, physiquement par dépolissage et fissuration, chimiquement par des réactions de réticulation et/ou scission de chaîne, par la perte de composants solubles et par la réaction des sels, des acides et des autres impuretés déposées sur la surface. La surface devient alors plus hydrophile et l'eau pénétrera plus aisément dans le volume du matériau. Un dépôt blanchâtre, ou farinage, se présente souvent après vieillissement sur les matériaux qui contiennent des particules de trihydrate d'aluminium, de la poudre de silice ou d'autres charges, le dépôt étant formé habituellement de particules de charges tirées du matériau isolant. Pour certains matériaux polymériques, l'exposition aux intempéries produit un durcissement de la surface ou une fragilisation, habituellement sur une très faible profondeur (moins de 0,1 mm), qui peut amener à des microfractures. Ce phénomène est décrit comme une *craquelure*.

An additional point of caution should be considered in selecting a material based upon performance rating data obtained from chemical resistance tables. In many instances, these ratings have been derived from evaluation of the material as a pure product. Failures in some materials have been traced to the detrimental effects resulting from the interactions of chemicals, even though these materials were found to be acceptable for a specific service with exposures to each of the individual chemicals involved. This warning applies also in the case of materials that are precisely defined, not just vaguely designated by their generic type ("*polyethylene*", "*epoxy*").

Similarly, chemical resistance tables usually consist of data obtained with test specimens under little or no mechanical load. Tendencies to stress cracking upon application of mechanical load are frequently not considered, and adverse synergistic effects similar to the well-known ozone-mechanical strain effect in natural rubber are also overlooked.

NOTE – Compatibility tests serve to reveal such interactions in the course of development of an insulation system for specific service requirements.

5.4 *Biological agents*

It is recognized that bacteria or mould micro-organisms cannot be allowed to grow on polymeric insulation because they might use the material as a culture medium, and will slowly destroy the insulation chemically, mechanically and, ultimately, electrically. Polymers themselves are generally resistant to bacterial or mould attack, in that they do not serve as a carbon source for growth, although there are some notable exceptions, such as polyester-based urethanes. It is usually other constituents used in insulating compounds, such as plasticizers, lubricants, colourants, stabilizers and processing additives that are susceptible to biological attack. It is, therefore, important to establish the resistance to biological attack under conditions favourable for attack, namely hot and humid conditions.

5.5 *Weathering*

Outdoor weathering affects all materials to some extent, and includes the effects of varying temperature and humidity, rain, snow, ice, wind, contaminants in the atmosphere, and the heat and ultraviolet radiation of the sun. Under such conditions, the surface of an insulating material may be permanently changed, physically by roughening and cracking, chemically by cross-linking and/or chain-scission reactions, by the loss of soluble components, and by the reaction of the salts, acids and other impurities deposited on the surface. The surface becomes then more hydrophilic and water will more easily penetrate into the volume of the material. A whitish deposit, or chalking, is often found after ageing on those materials which contain particles of aluminium trihydrate, silica powder or other fillers, the deposit usually consisting of particles of filler derived from the insulating material. For some polymer materials, weathering induces hardening of the surface, or embrittlement, usually over a very small depth (less than 0,1 mm) that can lead to microfractures. This phenomenon is referred to as *crazing*.

5.6 Contaminants

Les matériaux isolants utilisés à l'extérieur sont soumis à diverses formes de contaminants en suspension dans l'air qui peuvent provenir de sources naturelles mais sont souvent d'origine artificielle. En présence d'humidité et d'une contrainte électrique, beaucoup de contaminants produisent une conduction non uniforme en surface et accroissent le risque de formation d'une bande sèche et de décharges superficielles. La chaleur et les produits réactifs formés par ces décharges peuvent décomposer l'isolation, en formant des chemins charbonneux sur certains matériaux et en provoquant une érosion sur d'autres. La propagation de chemins charbonneux peut faire un pont entre les conducteurs et entraîner une défaillance. L'érosion peut causer une défaillance mécanique. Une érosion même limitée peut piéger la poussière et l'humidité, de telle façon que le nettoyage de la surface soit plus difficile.

Puisque la poussière et les fibres sont attirées sur les isolateurs à haute tension continue, la conductance en surface est susceptible d'augmenter plus rapidement qu'avec les isolateurs en courant alternatif à la même contrainte. Les décharges de bande sèche sont de durée plus longue avec les isolateurs en continu qu'en alternatif, causant un plus grand échauffement, et une dégradation en surface et une défaillance plus rapides.

Dans le matériel blindé, l'isolation peut être exposée à l'ozone et aux oxydes d'azote, engendrés par les décharges d'étincelles, lesquels peuvent provoquer la corrosion des conducteurs et la fixation sous contrainte de l'isolation.

5.7 Conditions environnementales spéciales

Les vibrations mécaniques, les chocs ou l'expansion et la contraction thermiques, en provenance soit de l'environnement externe soit du fonctionnement, peuvent produire des fissures dans l'isolation. Des fissures de fatigue peuvent se développer sur une longue période. D'autres conditions environnementales peuvent interagir avec les contraintes mécaniques pour accélérer les dommages mécaniques de l'isolation.

Des charges physiques anormales, telles que le poids du givre sur des conducteurs, peuvent amener à une défaillance de l'isolation par charge excessive de traction sur des isolateurs aériens.

Des hautes pressions dans certains types de matériel de puissance, ou imposées extérieurement comme dans la submersion en eau profonde, peuvent affecter les aspects physiques, mécaniques, électriques et chimiques de la performance de l'isolation.

5.8 Conditions d'environnement sous rayonnements

Ce sont des conditions environnementales très spéciales et difficiles pour l'isolation électrique, comprenant l'exposition aux particules énergétiques chargées et au rayonnement électromagnétique. Ces facteurs en général causent une détérioration des propriétés physiques. Les détails des effets du rayonnement et de l'oxygène, et d'autres facteurs connexes, sont décrits dans la CEI 544-1 (voir annexe A, [5]).

5.8.1 Espace/vide

Espace: Les effets primaires de l'espace sont dus aux conditions de vide partiel et à la diminution jointe de la rigidité diélectrique du gaz entourant le (et faisait partie du) système d'isolation. Ceci abaisse non seulement la résistance au contournement, mais également la tension de seuil de décharge. Les niveaux des rayonnements ionisants sont

5.6 Contaminants

Insulating materials used outdoors are subjected to various forms of airborne contamination, which may stem from natural sources, but are often man-made. In the presence of moisture and electric stress, many contaminants cause non-uniform surface conductance and increase the risk of dry-band formation and surface discharges. Heat and reactive agents produced by these discharges may decompose the insulation, forming carbon tracks on some materials and erosion on others. Propagation of carbon tracks can bridge the conductors, causing failure. Erosion may cause mechanical failure. Even limited corrosion may trap dust and moisture, so that surface cleaning is more difficult.

Because dust and fibres are attracted to high-voltage d.c. insulators, the surface conductance is likely to increase more rapidly than with a.c. insulators at the same stress. Dry-band discharges are of longer duration with d.c. than a.c. insulators, causing greater heating and more rapid surface degradation and failure.

In enclosed equipment, the insulation may be exposed to ozone and nitrogen oxides, generated by spark discharges, which may cause corrosion of conductors and stress cracking of insulations.

5.7 Special environmental conditions

Mechanical vibration, shock or thermal expansion and contraction, either from the external environment or from operation, may produce cracks in the insulation. Fatigue cracks may slowly develop over a period of time. Other environmental conditions may interact with mechanical stress to accelerate mechanical damage to the insulation.

Abnormal physical loads, such as the weight of icing on conductors, may lead to insulation failure through excessive tensile loading on overhead insulators.

High pressure in some kinds of power equipment, or pressure imposed externally, such as in deep water submergence, may affect the physical, mechanical, electrical and chemical aspects of the insulation performance.

5.8 Radiation environmental conditions

These represent very special and difficult environmental conditions for electrical insulation, involving exposure to energy charged particles and electromagnetic radiation. These factors generally cause the physical properties to deteriorate. Details of the effects of radiation and oxygen, and other related factors, are described in IEC 544-1 (see annex A, [5]).

5.8.1 Aerospace/vacuum

Aerospace: The primary effects of aerospace are due to the partial vacuum conditions and the attendant reduction of the electric strength of the gas surrounding (and part of) the insulation system. This not only lowers the flashover strength, but decreases the discharge inception voltage. Levels of ionizing radiation are also higher in aerospace than

également plus élevés dans l'espace qu'au niveau de la mer. Ainsi, les taux de dégazage des matériaux isolants et les effets des rayonnements ionisants sur les matériaux doivent être pris en considération. De plus en plus, beaucoup d'applications militaires exigent le degré maximal possible de durcissement au rayonnement. Il faut aussi considérer l'érosion des matériaux ou par l'impact de particules à haute énergie, telles que l'oxygène atomique et les effets possibles de basses températures et de cycles thermiques.

Vide: Quand on considère des conditions de vide poussé, tel que celui atteint par l'exposition prolongée dans l'espace au-dessus de l'atmosphère, la pression de vapeur du système d'isolation et son dégazage sont importants pendant la période de mise sous vide. Il est important de laisser un temps suffisant pour un dégazage complet. Des décharges partielles locales peuvent se produire dans des espaces vides à faible pression de gaz et disparaître lorsqu'un vide poussé est atteint. Ces décharges pourraient ensuite accroître la pression de gaz résiduel et entraîner une détérioration de l'isolation. En l'absence de particules énergétiques chargées et de rayonnements électromagnétiques, on ne s'attend pas à quelque problème après avoir atteint un vide poussé. Cependant, lorsque de telles particules et de tels rayonnements sont présents, des charges superficielles, des émissions d'électrons et d'ions secondaires à partir des surfaces exposées peuvent engendrer des contraintes électriques qui peuvent produire un contournement.

6 Méthodes de vieillissement

On a enregistré un nombre considérable de méthodes d'essai normalisées (normes ISO, CEI, nationales et institutionnelles), qui comprennent des aspects variés de méthodes de vieillissement en environnement. Beaucoup de ces essais ont été développés pour évaluer l'endurance des matériaux (notamment des polymères et des élastomères) et des composites simples, mais non les systèmes d'isolation électrique ou isolation du matériel. Ceci devrait être présent à l'esprit lorsque l'on considère l'application de telles méthodes aux fins d'inclure l'action de l'environnement dans l'évaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation.

Certains de ces essais sont passés en revue ci-après. Pour les références, voir annexe A. Ils ont été choisis en partie parce qu'ils traitent de situations de vieillissement de souci pratique majeur, en partie parce qu'ils sont applicables à des modèles d'essais fonctionnels, et non seulement à des éprouvettes de matériaux simples. En aucun cas, le choix n'indique l'invalidité d'autres méthodes d'essai disponibles.

6.1 Humidité

La dynamique de la condensation, de l'effet de mèche, de l'absorption, etc. et les changements du matériau qui en résultent dépendent de la méthode d'exposition (vapeur ou liquide). La condensation dépend aussi de la vitesse de variation de température et est réalisée habituellement au moyen de cycles.

Si l'objet de l'essai contient des constituants solubles dans l'eau, l'exposition à l'eau modifiera la composition de l'éprouvette.

Voir également l'article 4, notamment 4.3 et 4.4.

Exemples de méthodes: annexe A, [1], [6], [7].

at sea level. Thus, outgassing rates of insulating materials and the effects of ionizing radiation on the materials should be considered. Increasingly, many military applications require the maximum degree of radiation hardening possible. Also to be considered is the erosion of materials by the impact of high energy particles, such as atomic oxygen, and the possible effects of low temperature and thermal cycling.

Vacuum: When a hard vacuum condition such as is attained by prolonged exposure to space above the atmosphere is considered, the vapour pressure of the insulation system and its outgassing are important during the period of evacuation. It is important that sufficient time be allowed for complete degassing. Local partial discharges can occur in void spaces with low gas pressure which disappear when hard vacuum is achieved. These discharges could further increase the residual gas pressure and may cause insulation deterioration. In the absence of energy-charged particles and electromagnetic radiation, no problem is expected after a hard vacuum is reached. When, however, such particles and radiation are present, surface charges, secondary electron and ion emission from exposed surfaces, may build up electrical stresses which can produce flashover.

6 Ageing procedures

A considerable number of standard test methods (ISO, IEC, national and institutional standards), which comprise various aspects of environmental ageing procedures, are on record. Many of these tests have been developed for assessing the endurance of materials (notably polymers and elastomers) and simple composites, not electrical insulation systems or insulation of equipment. This ought to be borne in mind when considering the application of such methods for the purpose of including environmental action into the functional evaluation of insulation systems.

Some of these tests are reviewed below. For references, see annex A. They are selected, partly because they deal with ageing situations of major practical concern, partly because they are applicable to functional test models, and not only to specimens of simple materials. The choice by no means indicates the invalidity of other available test methods.

6.1 Moisture

The dynamics of condensation, wicking, absorption, etc., and the resulting material changes, depend on the method of exposure (vapour or liquid). Condensation also depends on the rate of temperature change, and is usually achieved by a cycling procedure.

If the test object contains water soluble constituents, water exposure will modify the composition of the specimen.

See also clause 4 above, notably 4.3 and 4.4.

Examples of methods: annex A, [1], [6], [7].

6.2 Produits chimiques

Les éprouvettes sont exposées à un milieu gazeux ou immergées dans des produits chimiques liquides ou des solutions à des concentrations contrôlées, et, dans beaucoup de cas, à température élevée. Les modes opératoires aident à établir les conditions d'exposition contrôlée supplémentaires.

Exemples de méthodes: annexe A, [8], [9], [10], [11]

6.3 Agents biologiques

Des méthodes conventionnelles d'exposition microbiologique sont utilisées pour essayer la résistance des systèmes d'isolation électrique, mais des méthodes spéciales pour établir les changements qui en résultent sont souvent appliquées.

Exemple de méthodes: annexe A, [12].

6.4 Exposition aux intempéries

L'exposition extérieure est l'essai fondamental de résistance d'un isolateur aux intempéries. Comme les types de contamination et leur intensité ainsi que l'intensité du rayonnement UV sont très variables, les essais à l'extérieur sont effectués sur des sites où la contamination est particulièrement sévère (près des côtes, des centrales thermiques ou des industries chimiques). Cependant, les essais effectués sous des climats tempérés peuvent ne pas être appropriés pour les régions tropicales, où l'intensité UV et la température sont beaucoup trop élevées. Certains sites d'essai dans des régions désertiques sont équipés de miroirs pour accroître l'intensité du rayonnement solaire.

Des essais avec de l'UV produit par des grandes lampes Hg-xénon et une exposition simultanée ou séquentielle à des cycles de température, à la pollution ou à l'humidité, ont été définis et leur pertinence aux conditions de service est à l'étude. Il est important de contrôler l'intensité UV à différentes positions sur les isolateurs et si l'isolation est soumise à une contrainte mécanique (élongation ou flexion) où l'intensité UV est la plus grande. L'inclinaison des surfaces isolantes durant l'essai peut affecter les niveaux de contamination et de contrainte qui sont cause de dégradation et de défaillance.

Au début, la surface des résines et des polymères est habituellement hydrophobe, ainsi la contamination et l'humidité ne deviennent un problème qu'après que l'exposition aux intempéries a rendu la surface mouillable. L'essai au plan incliné (CEI 587) peut être adapté pour estimer si un isolateur est sujet au cheminement ou à une érosion sévère, après que l'exposition aux intempéries a modifié la surface. A cette fin, la surface de l'isolateur entre les électrodes est soumise à une abrasion lumineuse avant d'appliquer la contamination et la contrainte électrique.

Exemples de méthodes: annexe A, [13], [14], [15].

6.5 Contaminants

La dégradation causée par l'exposition aux contraintes électriques de surface d'isolation polluées et humides peut être révélée par une exposition aux intempéries, où le rayonnement solaire est un facteur additionnel ou par des essais accélérés.

6.2 Chemicals

Specimens are exposed to gaseous media, or immersed in liquid chemicals, or solutions, at controlled concentration and, in many cases, at elevated temperature. The procedures aim at establishing the added controlled exposure conditions.

Example of methods: annex A, [8], [9], [10], [11].

6.3 Biological agents

Conventional microbiological exposure procedures are used to test the resistance of electrical insulation systems, but special methods of establishing the resulting changes are often applied.

Example of methods: annex A, [12].

6.4 Weathering

Outdoor exposure is the ultimate test of insulator's resistance to weathering. As the types and intensity of contamination and the UV intensity are very variable, outdoor tests are made at sites where contamination is particularly severe (near the coast, power stations, or the chemical industry). However, tests made in temperate climates may not be relevant to tropical locations, where the UV intensity and temperature are much higher. Some test sites in desert areas are equipped with mirrors to increase the solar radiation intensity.

Indoor weathering tests, with UV generated by Hg-xenon lamps and large simultaneous/sequential exposure to temperature cycles, pollution and moisture, have been established and their relevance to service conditions is being investigated. It is important to monitor the UV intensity at different positions in the insulators, and whether the insulation is subjected to mechanical stress (elongation, or bending) where the UV intensity is greatest. The inclination of insulating surfaces during the test may affect the contamination and stress levels which cause degradation and failure.

Initially, the surfaces of resins and polymers are usually hydrophobic, so contamination and moisture only become a problem after weathering has rendered the surface wettable. The inclined plane test (IEC 587) may be adapted to assess whether an insulator is liable to track, or suffer severe erosion, after weathering has modified the surface. For this purpose, the surface of the area of the insulator between the electrodes is subjected to light abrasion before contamination and electric stress are applied.

Examples of methods: annex A, [13], [14], [15].

6.5 Contaminants

The degradation caused by electrical stress exposure of wet polluted insulation surfaces can be revealed by weather exposure, where solar radiation is an additional factor, or by accelerated tests.