NORME INTERNATIONALE

INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
60505

Troisième édition
Third edition
2004-10

Evaluation et qualification des systèmes d'isolation électrique

Evaluation and qualification of electrical insulation systems



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60505:2004

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS

Not for Resale

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions 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.

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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 cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- **Site web de la CEI (www.iec.ch)**
- **Catalogue des publications de la CEI**

  Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/searchpub) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.
- **IEC Just Published**

  Ce résumé des dernières publications parues (www.iec.ch/online_news/justpub) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.
- **Service clients**

  Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

  Email: custserv@iec.ch
  Tél: +41 22 919 02 11
  Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. 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.

Further information on IEC publications

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 this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- **IEC Web Site (www.iec.ch)**
- **Catalogue of IEC publications**

  The on-line catalogue on the IEC web site (www.iec.ch/searchpub) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.
- **IEC Just Published**

  This summary of recently issued publications (www.iec.ch/online_news/justpub) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.
- **Customer Service Centre**

  If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

  Email: custserv@iec.ch
  Tel: +41 22 919 02 11
  Fax: +41 22 919 03 00

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

NORME INTERNATIONALE

INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
60505

Troisième édition
Third edition
2004-10

Evaluation et qualification des systèmes d'isolation électrique

Evaluation and qualification of electrical insulation systems

© IEC 2004 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.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch

Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE XA

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

--`,,,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS

Not for Resale

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 6
INTRODUCTION 10
1 Domaine d'application 12
2 Références normatives 12
3 Termes et définitions 14
3.1 Termes généraux 14
3.2 Termes relatifs aux contraintes en service et au vieillissement 14
3.3 Termes relatifs aux essais 18
4 Vieillissement 20
4.1 Mécanismes de vieillissement 20
4.2 Estimation des mécanismes de vieillissement 28
4.3 Vieillissement accéléré 28
5 Eléments pour préparer une méthode d'évaluation 42
5.1 Objet 44
5.2 Conditions de service 44
5.3 Valeurs de durée de vie 44
6 Méthodes d'évaluation fonctionnelle pour qualifier un SIE 44
6.1 Considérations générales 44
6.2 Types de procédures d'évaluation 44
6.3 Considérations pratiques 52
7 Essais fonctionnels de vieillissement 56
7.1 Objets d'essai 56
7.2 Conditions d'essai 58
7.3 Détermination de la durée de vie en service du SIE 60
8 Vieillissement accéléré 60
8.1 Niveaux de contrainte 60
8.2 Durée et nombre de sous-cycles 60
8.3 Sous-cycle de vieillissement 62
9 Conditionnement de pré-diagnostic 62
10 Diagnostic 64
10.1 Essais de diagnostic – Critères de point limite 64
10.2 Essais spécifiques additionnels 66
11 Analyse des données 66
11.1 Généralités 66
11.2 Expérience en fonctionnement 66
11.3 Endurance électrique 66
11.4 Vieillissement thermique 66
11.5 Endurance mécanique 68
11.6 Données d'essais environnementales 68
11.7 Données d'essais multifactorielles 68
11.8 Nombre d'éprouvettes 68
12 Procédures d'évaluation fondées sur des distributions statistiques – Formules mathématiques 68
13 Procès-verbal d'essai 70
14 Codification des SIE 70

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

CONTENTS

FOREWORD 7
INTRODUCTION 11
1 Scope 13
2 Normative references 13
3 Terms and definitions 15
3.1 General terms 15
3.2 Terms related to service stresses and ageing 15
3.3 Terms related to testing 19
4 Ageing 21
4.1 Ageing mechanism 21
4.2 Assessment of ageing mechanisms 29
4.3 Accelerated ageing 29
5 Elements for preparing an evaluation method 43
5.1 Object 45
5.2 Service conditions 45
5.3 Life values 45
6 Functional evaluation methods to qualify an EIS 45
6.1 General considerations 45
6.2 Types of evaluation procedures 45
6.3 Practical considerations 53
7 Functional ageing tests 57
7.1 Test objects 57
7.2 Test conditions 59
7.3 Determination of EIS service life 61
8 Accelerated ageing 61
8.1 Stress levels 61
8.2 Duration and number of subcycles 61
8.3 Ageing subcycle 63
9 Prediagnostic conditioning 63
10 Diagnostics 65
10.1 Diagnostic tests – End point criteria 65
10.2 Additional specific tests 67
11 Analysing the data 67
11.1 General 67
11.2 Operating experience 67
11.3 Electrical endurance 67
11.4 Thermal ageing 67
11.5 Mechanical endurance 69
11.6 Environmental test data 69
11.7 Multifactor test data 69
11.8 Number of specimens 69
12 Evaluation procedures based on statistical distributions – Mathematical formulae 69
13 Test report 71
14 EIS coding 71

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Annexe A (informative) Listes de contrôle 72
Annexe B (informative) Organigrammes 78
Annexe C (informative) Choix des essais de diagnostic et de leurs niveaux de contrainte 94
Annexe D (informative) Essai à une tension croissant par paliers 100

Bibliographie 106

Figure 1 – Vieillissement d'un SIE 20
Figure 2 – Exemple de mécanismes de vieillissement possibles en fonction du temps 24
Figure 3 – Vieillissement en fonction du temps pour la Figure 2 24
Figure 4 – Exemple de mécanismes de vieillissement possibles en fonction du temps 26
Figure 5 – Vieillissement en fonction du temps pour la Figure 4 26
Figure 6 – Méthodologie des méthodes d'évaluation 42
Figure 7 – Type de procédure d'évaluation 46
Figure 8 – Choix de l'objet d'essai 52
Figure 9 – Etablissement de la méthode d'essai 54
Figure B.1 – Vieillissement électrique intrinsèque/extrinsèque de SIE pratiques 78
Figure B.2 – Vieillissement thermique intrinsèque/extrinsèque de SIE pratiques 80
Figure B.3 – Vieillissement mécanique intrinsèque/extrinsèque de SIE pratiques 82
Figure B.4 – Vieillissement environnemental intrinsèque/extrinsèque de SIE pratiques 84
Figure B.5 – Exemple de vieillissement d'un SIE réel où le vieillissement électrique est le facteur de vieillissement dominant 86
Figure B.6 – Exemple de vieillissement d'un SIE réel où le vieillissement thermique est le facteur de vieillissement dominant 88
Figure B.7 – Exemple de vieillissement d'un SIE réel où le vieillissement mécanique est le facteur de vieillissement dominant 90
Figure B.8 – Exemple de vieillissement d'un SIE réel où le vieillissement dû aux contraintes environnementales est le facteur de vieillissement dominant 92

Tableau 1 – Températures de vieillissement 32
Tableau 2 – Procédures cycliques et continues 64
Tableau A.1 – Liste de contrôle des expériences en service, exigences/conditions de service, données de fonction et de performance pour l'évaluation d'un SIE (à modifier par l'utilisateur, si nécessaire) 74
Tableau A.2 – Liste de contrôle de la configuration d'un SIE 76
Tableau C.1 – Analyse des contraintes potentiellement destructives (ces contraintes ne causent pas de vieillissement appréciable) 94

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Annex A (informative) Checklists 73
Annex B (informative) Flow charts 79
Annex C (informative) Selection of diagnostic tests and their stress levels 95
Annex D (informative) Test using step-by-step increasing voltage 101

Bibliography 107

Figure 1 – Ageing of an EIS 21
Figure 2 – Example of possible ageing mechanisms as a function of time 25
Figure 3 – Ageing as a function of time for Figure 2 25
Figure 4 – Example of possible ageing mechanisms as a function of time 27
Figure 5 – Ageing as a function of time for Figure 4 27
Figure 6 – Method elements of evaluation methods 43
Figure 7 – Type of evaluation procedure 47
Figure 8 – Selection of test object 53
Figure 9 – Establishing the test method 55
Figure B.1 – Intrinsic/extrinsic electrical ageing of practical EIS 79
Figure B.2 – Intrinsic/extrinsic thermal ageing of practical EIS 81
Figure B.3 – Intrinsic/extrinsic mechanical ageing of practical EIS 83
Figure B.4 – Intrinsic/extrinsic environmental ageing of practical EIS 85
Figure B.5 – Example of ageing of practical EIS where electrical ageing is the dominant factor 87
Figure B.6 – Example of ageing of practical EIS where thermal ageing is the dominant factor 89
Figure B.7 – Example of ageing of practical EIS where mechanical ageing is the dominant factor 91
Figure B.8 – Example of ageing of practical EIS where environmental ageing is the dominant factor 93

Table 1 – Ageing temperatures 33
Table 2 – Cyclical and continuous procedures: 65
Table A.1 – Checklist for service experience, service requirements/conditions, duty and performance data for EIS evaluation (to be modified by user, as required) 75
Table A.2 – Checklist for configuration of EIS 77
Table C.1 – Analysis of potentially destructive stresses (these stresses do not cause appreciable ageing) 95

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

ÉVALUATION ET QUALIFICATION DES SYSTÈMES D'ISOLATION ÉLECTRIQUE

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 60505 a été établie par le comité d'études 98 de la CEI: Système d'isolation électrique (SIE).

Cette troisième édition annule et remplace la seconde édition, publiée en 1999, dont elle constitue une révision technique.

Par rapport à l'édition précédente, cette édition est le résultat d'un regroupement des normes suivantes qui, à l'exception de la CEI 60727-1, seront annulées à la publication de la présente troisième édition.

CEI 60791:1984, Evaluation des performances des systèmes d'isolation à partir de l'expérience en service et des résultats d'essais fonctionnels

CEI 60792-1:1985, Essais fonctionnels à plusieurs facteurs de systèmes d'isolation électrique – Première partie: Procédures d'essai

CEI 60941:1988, Essais fonctionnels d'endurance mécanique des systèmes d'isolation électrique

--`,,,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

EVALUATION AND QUALIFICATION OF ELECTRICAL INSULATION SYSTEMS

FOREWORD

1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60505 has been prepared by IEC technical committee 98: Electrical insulation systems (EIS).

This third edition cancels and replaces the second edition, published in 1999 and constitutes a technical revision.

The main changes with respect to the previous edition concern the amalgamation of the following standards, which, with the exception of IEC 60727-1, will be withdrawn when this third edition is published:

IEC 60791:1984, Performance evaluation of insulation systems based on experience and functional tests

IEC 60792-1:1985, The multi-factor functional testing of electrical insulation systems – Part 1: Test procedures

IEC 60941:1988, Mechanical endurance functional tests for electrical insulation systems

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

CEI 61356:1995, Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation électrique – Principes de procédures d'essai lorsque l'essai comparatif n'est pas possible

CEI 61359:1995, Evaluation et identification des systèmes d'isolation électrique – Evaluation de l'environnement

CEI 60727-1:1982, Evaluation de l'endurance électrique des systèmes d'isolation électrique – Première partie: Considérations générales et procédures d'évaluation basées sur une distribution normale

Les éléments de la CEI 60727-1 qui ne sont pas regroupés dans la présente norme seront pris en compte dans la prochaine édition de la CEI 60727-1.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
98/217/FDIS	98/225/RVD

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous «http://webstore.iec.ch» dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

--`,,,,``-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

IEC 61356:1995, Functional evaluation of electrical systems – Principles for test procedures when comparative testing is not feasible

IEC 61359:1995, Evaluation and identification of electric insulation systems – Environment evaluation

IEC 60727-1: 1982, Evaluation of electrical endurance of electrical insulation systems – Part 1: General considerations and evaluation procedures based on normal distributions

Elements of IEC 60727-1 that are not amalgamated will be considered in the next edition of that standard.

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

FDIS	Report on voting
98/217/FDIS	98/225/RVD

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "http://webstore.iec.ch" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed;
- withdrawn;
- replaced by a revised edition, or
- amended.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

INTRODUCTION

La durée de vie en service du matériel électrique est fréquemment déterminée par la durée de vie de son ou de ses systèmes d'isolation électrique (SIE). La durée de vie d'un SIE peut être affectée par des contraintes électriques, thermiques, mécaniques ou environnementales agissant individuellement ou en combinaison.

Les durées de vie en service envisagées, estimées ou prouvées sont des paramètres essentiels pour décrire la durée de vie de systèmes d'isolation électrique. Dans les premiers temps de l'ingénierie électrotechnique, les données de durée de vie étaient plutôt vagues. La limitation de la durée de vie de l'isolation sous contrainte thermique était l'un des premiers indicateurs de l'effet du vieillissement de certains matériels en service. Lorsque l'expérience dans l'utilisation des SIE s'est accrue, on s'est rendu compte qu'il y avait un besoin de sélectionner des matériaux spécifiques qui présentaient une durée de vie satisfaisante à une température donnée, pour permettre de réaliser la durée de vie requise en service et pour permettre le calcul de l'aptitude thermique du matériel.

La CEI 60085 a normalisé un certain nombre de valeurs maximales de température et présenté une liste de matériaux isolants (MEI), rattachés à ces températures (classes), qui, utilisés comme SIE, «devaient assurer pour l'isolation une durée de vie économique dans une large gamme de matériels».

Ce fut une tentative clairement définie de qualifier des SIE sur la base de l'expérience (en service) ou d'essais et une quantification de la vie d'un SIE en termes de durée. La limite de cette approche, basée entièrement sur la contrainte thermique, a été reconnue et il y a eu une demande pour un concept amélioré de la durée de vie. Cette exigence, ainsi que l'impossibilité d'utiliser les tableaux de matériaux de la CEI 60085 alors que de nombreux matériaux synthétiques nouveaux étaient produits qui ne correspondaient pas proprement à la classification thermique existante, ont suscité un effort mondial pour améliorer la situation. Cela a conduit à l'élaboration de la présente norme, qui sert de guide pour tous ceux qui développent des normes et des documents techniques.

L'utilisateur de la présente norme peut évaluer les méthodes d'essai existantes et fournir la corrélation avec ce matériel. Ainsi, il est de la responsabilité de l'utilisateur de cette norme de démontrer la validité de la méthode d'essai existante conformément aux principes de cette norme.

Déterminer la durée de vie envisagée est une tâche fondamentale dans le développement et la conception d'un SIE. La durée de vie estimée d'un SIE a besoin d'être établie pour plusieurs raisons:

– pour les essais de type lorsque l'on introduit en production un nouveau SIE;
– pour l'assurance de qualité de la production; et
– pour l'estimation de la durée de vie restante aux fins de maintenance.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

INTRODUCTION

The service life of electrical equipment is frequently determined by the life of its electrical insulation system (EIS) or systems. The life of an electrical insulation system can be affected by electrical, thermal, mechanical or environmental stresses acting either individually or in combination.

Intended, estimated or proven service life times are essential parameters for describing the life of electrical insulation systems. In the early days of electrotechnical engineering, life figures were rather vague. The limitation of the life of the insulation under thermal stress was one of the first indicators of the effect of ageing in some equipment in service. As experience in using EIS increased, it was appreciated that there was a need to select specific materials having satisfactory life time at a given temperature, to enable the required service life to be achieved and to allow for the calculation of the thermal capability of equipment.

IEC 60085 standardized a number of maximum temperature values and presented a list of electrical insulating materials (EIM) related to these temperatures (classes) which, when used for EIS, would “ensure an economical life for the insulation in a wide range of apparatus".

This was a clearly defined attempt to qualify EIS on the basis of (service) experience or tests and a quantification of an EIS life in terms of time. The limitation of this approach, based entirely on thermal stressing, was recognized and there was a demand for an improved life concept. This requirement and the impossibility of using the material tables in IEC 60085 at a time when many new, synthetic materials were being produced which did not fit neatly into the existing thermal classification, led to a worldwide effort to improve the situation. This led to the elaboration of the present standard, which serves as a guide to anyone developing standards and technical documents.

The user of this standard may evaluate existing test methods and provide correlation with his equipment. Therefore, the user of this standard is responsible for demonstrating the validity of the existing test method in accordance with the principles of this standard.

To determine the prospective life is a fundamental task when developing and designing an EIS. Estimated service life of an EIS needs to be established for several reasons:

– for type testing when introducing a new EIS into production;
– for quality assurance of production; and
– for estimating the remaining life for maintenance purposes.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

ÉVALUATION ET QUALIFICATION DES SYSTÈMES D'ISOLATION ÉLECTRIQUE

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale établit les bases de l'estimation du vieillissement des systèmes d'isolation électrique (SIE) dans des conditions de contraintes électriques, thermiques, mécaniques, environnementales ou de combinaisons de ces contraintes (contraintes multifactorielles).

Elle spécifie les principes et les procédures qu'il convient de suivre, au cours du développement d'essais fonctionnels ou de méthodes d'évaluation des SIE, pour établir la durée de vie estimée d'un SIE spécifique.

La présente norme est applicable à tous les comités d'études de la CEI responsables de matériels (CEM) ayant un SIE.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60068-2-1, *Essais d'environnement – Partie 2: Essais – Essais A: Froid*

CEI 60068-2-2, *Essais d'environnement – Partie 2: Essais – Essais B: Chaleur sèche*

CEI 60068-2-14, *Essais d'environnement – Partie 2: Essais – Essais N: Variations de température*

CEI 60068-2-27, *Essais d'environnement – Partie 2: Essais – Essais Ea et Guide: Chocs*

CEI 60216-3, *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique – Partie 3: Instructions pour le calcul des caractéristiques d'endurance thermique*

CEI 60216-5, *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique – Partie 5: Détermination de l'indice d'endurance thermique relatif (RTE) d'un matériau isolant*

CEI 60493-1, *Guide pour l'analyse statistique de données d'essais de vieillissement –Partie 1: Méthodes basées sur les valeurs moyennes de résultats d'essais normalement distribués*

CEI 60544-1, *Matériaux isolants électriques – Détermination des effets des rayonnements ionisants – Partie 1: Interaction des rayonnements et dosimétrie*

CEI 60664 (toutes les parties), *Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension*

CEI 60727-1, *Evaluation de l'endurance électrique des systèmes d'isolation électrique – Partie 1: Considérations générales et procédures d'évaluation basées sur une distribution normale*

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

EVALUATION AND QUALIFICATION OF ELECTRICAL INSULATION SYSTEMS

1 Scope

This International Standard establishes the basis for estimating the ageing of electrical insulation systems (EIS) under conditions of either electrical, thermal, mechanical, environmental stresses or combinations of these (multifactor stresses).

It specifies the principles and procedures that should be followed, during the development of EIS functional test and evaluation procedures, to establish the estimated service life for a specific EIS.

This standard is for use by all IEC technical committees responsible for equipment having an EIS.

2 Normative references

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

IEC 60068-2-1, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test A: Cold*

IEC 60068-2-2, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test B: Dry heat*

IEC 60068-2-14, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test N: Change of temperature*

IEC 60068-2-27, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Ea and guidance: Shock*

IEC 60216-3, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 3: Instructions for calculating thermal endurance characteristics*

IEC 60216-5, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 5: Determination of relative thermal endurance index (RTE) of an insulating material*

IEC 60493-1, *Guide for the statistical analysis of ageing test data – Part 1: Methods based on mean values of normally distributed test results*

IEC 60544-1, *Electrical insulating materials – Determination of the effects of ionizing radiation– Part 1: Radiation interaction and dosimetry*

IEC 60664 (all parts), *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems*

IEC 60727-1, *Evaluation of electrical endurance of electrical insulation systems – Part 1: General considerations and evaluation procedures based on normal distributions*

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent:

3.1 Termes généraux

3.1.1
système d'isolation électrique
SIE
structure isolante, comprenant un ou plusieurs matériaux isolants électriques (MIE) avec les parties conductrices associées, utilisée dans un dispositif électrotechnique

3.1.2
matériau isolant électrique
MIE
matériau de conductivité électrique faible pratiquement négligeable, utilisé pour séparer des pièces conductrices portées à des potentiels différents

[VEI 212-01-01:1990, modifiée]

3.1.3
SIE de référence
SIE reconnu et évalué, soit sur la base d'une expérience en service connue et enregistrée, soit sur la base d'une évaluation fonctionnelle comparative connue

3.1.4
SIE candidat
SIE en cours d'évaluation pour déterminer son aptitude en service (en ce qui concerne les contraintes électriques, thermiques, mécaniques, environnementales ou multifactorielles)

3.1.5
durée de vie envisagée
durée de vie projetée d'un SIE dans les conditions de service

3.1.6
durée de vie estimée
durée de vie attendue, obtenue à partir soit de l'expérience en service, soit des résultats d'essais effectués en conformité avec des procédures appropriées d'évaluation, ou des deux, tel qu'établi par l'organisation ou le comité technique responsables

3.1.7
évaluation
établissement de relations entre les exigences de service et les données de durée de vie obtenues à partir de l'analyse de l'expérience en service ou des résultats d'essais fonctionnels

3.2 Termes relatifs aux contraintes en service et au vieillissement

3.2.1
contrainte de vieillissement
contrainte électrique, thermique, mécanique ou environnementale dont l'action sur un SIE provoque des changements irréversibles des propriétés

3.2.2
contrainte potentiellement destructive

facteurs d'influence en service qui peuvent causer la défaillance d'un SIE ayant subi un vieillissement, seuls ou combinés à d'autres contraintes

--`,,,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply:

3.1 General terms

3.1.1
electrical insulation system
EIS
insulating structure containing one or more electrical insulating materials (EIM) together with associated conducting parts employed in an electrotechnical device

3.1.2
electrical insulating material
EIM
material with negligibly low electric conductivity, used to separate conducting parts at different electrical potentials

[IEV 212-01-01:1990, modified]

3.1.3
reference EIS
established EIS evaluated on the basis of either a known service experience record or a known comparative functional evaluation

3.1.4
candidate EIS
EIS under evaluation to determine its service capability (with regard to electrical, thermal, mechanical, environmental or multifactor stresses)

3.1.5
intended life
design life of an EIS under service conditions

3.1.6
estimated life
expected service life derived from either service experience or the results of tests performed in accordance with appropriate evaluation procedures, or both, as established by the responsible organization or technical committee

3.1.7
evaluation
establishment of relationships between service requirements and life data obtained from service experience analysis or from the results of functional tests

3.2 Terms related to service stresses and ageing

3.2.1
ageing stress
electrical, thermal, mechanical or environmental stress whose action on an EIS causes irreversible property changes

3.2.2
potentially destructive stress

factor of influence in service which can cause the failure of the aged EIS, alone or in combination with other stresses

--`,,,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

3.2.3
facteur d'influence
contrainte imposée par les conditions de fonctionnement, d'environnement ou d'essai qui affecte le vieillissement ou la durée de vie d'un SIE

NOTE Le terme “facteur d'influence” indique des facteurs externes (comme la température ambiante) qui induisent une contrainte dans le SIE par opposition aux facteurs de contrainte qui font partie du cycle de service du matériel (par exemple échauffement dû à la charge).

3.2.4
conditions de service
combinaison de facteurs d'influence et de fonction qui sont à prévoir dans une application spécifique d'un matériel électrique

3.2.5
conditions de fonctionnement de référence
conditions de service du matériel auquel sont liées les conditions de la procédure de l'essai fonctionnel

3.2.6
exigences de service
facteurs spécifiés d'influence, performance attendue et fonction d'un matériel électrique

3.2.7
expérience en service
enregistrement quantitatif et/ou qualitatif durant le service, avec ou sans défaillance d'un SIE

3.2.8
vieillissement
changements irréversibles des propriétés d'un SIE dus à l'action d'un ou de plusieurs facteurs d'influence

NOTE 1 Certains changements (par exemple les hydrolyses) peuvent être partiellement réversibles si les conditions ambiantes changent.

NOTE 2 Le vieillissement conduit à une dégradation du SIE.

3.2.9
facteur de vieillissement
facteur d'influence qui cause un vieillissement

3.2.10
vieillissement intrinsèque
changements irréversibles de propriétés fondamentales d'un SIE, causés par l'action de facteurs de vieillissement sur le SIE

3.2.11
vieillissement extrinsèque
changements irréversibles des propriétés d'un SIE, produits par l'action de facteurs de vieillissement sur des imperfections introduites involontairement dans le SIE

3.2.12
interaction
modifications du type ou du degré de vieillissement, produites par la combinaison de deux ou de plusieurs facteurs d'influence et relatives à leur effet de vieillissement s'ils agissaient individuellement sur des objets séparés

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

3.2.3
factor of influence
stress imposed by conditions of operation, environment or test that affects ageing or life of an EIS

NOTE The term “factor of influence” denotes external factors (such as ambient temperature) inducing stress in the EIS as different from stress factors being part of the duty cycle of the equipment (e.g. temperature rise due to load).

3.2.4
service conditions
combination of factors of influence and duty that are to be expected in a specific application of an electrical device

3.2.5
reference operating conditions
service conditions of the equipment to which the test conditions of the functional test procedure are related

3.2.6
service requirements
specified factors of influence, intended performance and duty of an electrical device

3.2.7
service experience
the quantitative and/or qualitative record during service, with or without failure of an EIS

3.2.8
ageing
irreversible changes of the properties of an EIS due to action by one or more factors of influence

NOTE 1 Some changes (e.g. hydrolytic changes) can be partly reversible if the ambient conditions change.

NOTE 2 Ageing leads to degradation of the EIS.

3.2.9
ageing factor
factor of influence that causes ageing

3.2.10
intrinsic ageing
irreversible changes of fundamental properties of an EIS caused by the action of ageing factors on the EIS

3.2.11
extrinsic ageing
irreversible changes of properties of an EIS caused by action of ageing factors on unintentionally introduced imperfections in the EIS

3.2.12
interaction
modifications of the type or degree of ageing produced by the combination of two or more factors of influence relative to their ageing effect if acting individually on separate objects

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

3.2.13
interaction directe
interaction entre facteurs d'influence appliqués simultanément, qui diffère de celle qui se produit avec des facteurs d'influence appliqués séquentiellement

NOTE Tous les facteurs produisant une action directe ne sont pas nécessairement des facteurs de vieillissement.

3.2.14
interaction indirecte
interaction qui se produit entre des facteurs d'influence appliqués simultanément et qui reste inchangée quand ces facteurs sont appliqués séquentiellement

3.3 Termes relatifs aux essais

3.3.1
essai fonctionnel
procédure pour obtenir des informations sur la convenance d'un SIE dans des conditions spécifiées

3.3.2
objet d'essai
échantillon d'un matériel original, partie de celui-ci, ou modèle représentant partiellement ou complètement ce matériel, comprenant le SIE, destiné à être utilisé dans un essai fonctionnel

3.3.3
vieillissement accéléré
résultat d'un accroissement du niveau et/ou de la fréquence d'application des facteurs d'influence au-delà des conditions normales de service

3.3.4
essai accéléré
essai fonctionnel qui applique un vieillissement accéléré pour réduire la durée d'essai

3.3.5
conditionnement
exposition d'une éprouvette à une atmosphère d'une humidité relative spécifiée ou immersion complète de cette éprouvette dans de l'eau ou tout autre liquide, à une température donnée et durant un temps donné

3.3.6
conditionnement de pré-diagnostic
application continue ou périodique de contraintes variables ou fixes à un SIE pour accroître la capacité d'un essai fonctionnel à détecter le degré de vieillissement

NOTE Le conditionnement de pré-diagnostic peut causer un vieillissement supplémentaire.

3.3.7
facteur de diagnostic
contrainte variable ou fixe appliquée à un SIE pour établir le degré de vieillissement

3.3.8
essai de diagnostic
application périodique ou continue d'un niveau spécifié d'un facteur de diagnostic à un objet d'essai pour déterminer si et à quel moment le critère de point limite a été atteint

3.3.9
critère de point limite
moment où un système n'est plus capable de remplir ses fonctions

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

3.2.13
direct interaction
interaction between simultaneously applied factors of influence that differs from that occurring with sequentially applied factors of influence

NOTE All factors producing direct interaction are not necessarily ageing factors.

3.2.14
indirect interaction
interaction which occurs between simultaneously applied factors of influence, which remains unchanged when the factors are applied sequentially

3.3 Terms related to testing

3.3.1
functional test
procedure to obtain information about the suitability of an EIS under specified conditions

3.3.2
test object
sample of original equipment or part thereof, or model representating the equipment completely or partially, including the EIS, to be used in a functional test

3.3.3
accelerated ageing
result of an increase in the level and/or frequency of application of the factors of influence beyond normal service conditions

3.3.4
accelerated test
functional test applying accelerated ageing to shorten testing time

3.3.5
conditioning
subjecting a specimen to an atmosphere of a specified relative humidity or complete immersion in water or other liquid, at a specified temperature for a specified period of time

3.3.6
prediagnostic conditioning
variable or fixed stresses, which can be applied continuously or periodically to an EIS to enhance the ability of a functional test to detect the degree of ageing

NOTE Prediagnostic conditioning may cause additional ageing.

3.3.7
diagnostic factor
variable or fixed stress which is applied to an EIS to establish the degree of ageing

3.3.8
diagnostic test
periodic or continuous application of a specified level of a diagnostic factor to a test object to determine whether or when the end-point criterion has been reached

3.3.9
end-point criterion
moment when a system is no longer able to fulfil its service purposes

--`,,,,``-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

3.3.10
fin de vie
valeur d'une propriété ou d'un changement de propriété qui définit la fin de vie d'un objet d'essai dans un essai fonctionnel

3.3.11
cycle d'essai
dans un essai, période d'application répétitive d'un ou de plusieurs facteurs d'influence, soit séquentiellement soit simultanément, et de facteurs de diagnostic

3.3.12
sous-cycle
période définie du cycle d'essai

NOTE Le sous-cycle peut être, par exemple, une période d'application de température élevée et d'humidité pour influencer les propriétés du système, ou d'application de haute tension à des fins de diagnostic

4 Vieillissement

4.1 Mécanismes de vieillissement

Le vieillissement est défini comme le changement irréversible des propriétés d'un SIE en raison de l'action d'un ou de plusieurs facteurs d'influence. Les contraintes de vieillissement peuvent causer un vieillissement intrinsèque ou extrinsèque. Dans la plupart des SIE, le vieillissement extrinsèque domine. Une représentation schématique du processus de base est donnée à la Figure 1.

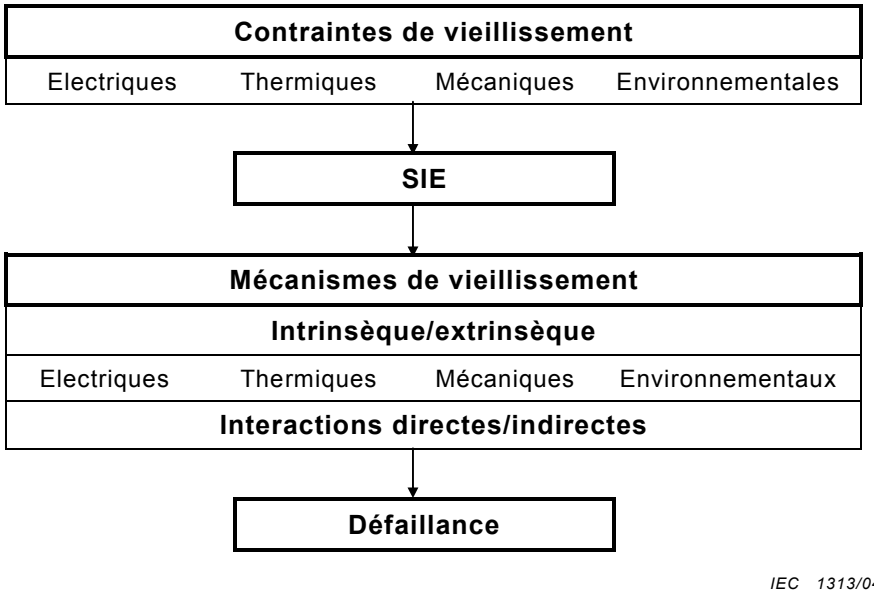


Figure 1 – Vieillissement d'un SIE

Le type et le niveau de contamination et/ou l'importance des imperfections dans un SIE affecteront de façon significative la performance en service de nombreux types de matériel électrique. En général, moins nombreux et moins sévères seront les contaminants et/ou les défauts, meilleure sera la performance du matériel. Pour éviter d'obtenir des résultats trompeurs à partir d'essais fonctionnels, il convient qu'un SIE candidat contienne, dans la mesure du possible, la gamme complète de contaminants et/ou de défauts attendus lorsque le système réel est utilisé en service.

--`,,,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

3.3.10
end of life
value of either a property or a change of property defining the end of life of a test object in a functional test

3.3.11
test cycle
in a test, repetitive period of application of one or more factors of influence, either sequentially or simultaneously, and of diagnostic factors

3.3.12
subcycle
defined period within test cycle

NOTE The subcycle may be, for instance, a period of application of high temperature and humidity for influencing the system properties, or application of high voltage for diagnostic purposes

4 Ageing

4.1 Ageing mechanism

Ageing is defined as the irreversible changes of the properties of an EIS due to action by one or more factors of influence. Ageing stresses may cause either intrinsic or extrinsic ageing. In most EIS extrinsic ageing predominates. A schematic representation of the basic process is shown in Figure 1.

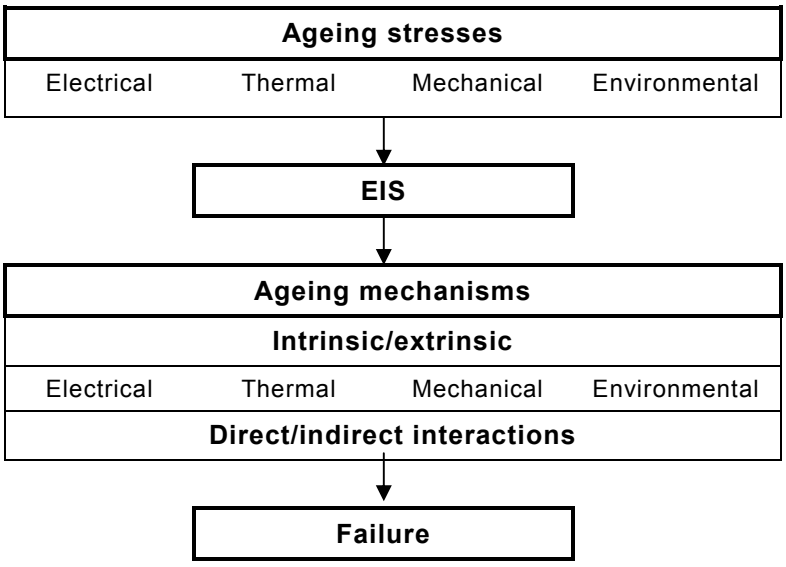


Figure 1 – Ageing of an EIS

The type and level of contamination and/or the extent of imperfections in an EIS will, in many types of electrical apparatus, significantly affect the service performance. In general, the fewer and less severe the contaminant and/or defects in the EIS, the better the performance of the equipment. To avoid obtaining misleading results from functional tests, a candidate EIS should contain, as far as practicable, the full range of contaminants and/or defects expected when the actual system is used in service.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Les facteurs de vieillissement produisent des mécanismes de vieillissement électriques, thermiques, mécaniques ou environnementaux qui finalement conduisent à la défaillance. Au cours du vieillissement, des contraintes appliquées, qui initialement n'affectaient pas le SIE, peuvent devenir des facteurs de vieillissement et, par conséquent, modifier la vitesse de dégradation.

Lorsque le vieillissement est dominé par un facteur de vieillissement, on est dans un cas de vieillissement unifactoriel. Le vieillissement multifactoriel se produit lorsque plus d'un facteur de vieillissement affecte substantiellement le vieillissement du SIE. Les facteurs de vieillissement peuvent agir en synergie, c'est-à-dire qu'il peut y avoir des interactions directes entre les contraintes. Les interactions peuvent être positives ou négatives.

Le vieillissement d'un SIE en pratique peut être complexe et la défaillance est habituellement causée par une combinaison de mécanismes de vieillissement, même s'il n'y a qu'un seul facteur de vieillissement dominant comme dans un vieillissement unifactoriel.

Lorsque l'expérience ou la connaissance existante de la manière dont un SIE spécifique peut se comporter en service est limitée, l'utilisateur de la présente norme doit décider si des procédures d'essai unifactorielles ou multifactorielles sont appropriées pour son appareillage ou son matériel spécifique.

NOTE La classification des environnements de fonctionnement des matériels électriques est traitée dans les publications CEI établies par le CE 75 de la CEI et les méthodes d'essais de l'endurance à l'environnement sont décrites dans les publications CEI établies par le CE 50 de la CEI (essentiellement le SC 50B), voir la bibliographie.

Dans les effets de l'environnement, on intègre les environnements autres que ceux des atmosphères normales des laboratoires spécifiées dans la CEI 60212.

D'autres normes qui fournissent des méthodes d'exposition ou de caractérisation des isolations sont données dans la bibliographie.

Dans les essais fonctionnels d'évaluation, idéalement, il convient d'inclure la reproduction de tous les mécanismes qui se produisent en service. En pratique, cela est souvent difficile à réaliser car les conditions où un mécanisme particulier de vieillissement est actif ne peuvent pas être complètement connues ou comprises. Plusieurs mécanismes de vieillissement peuvent se produire simultanément ou séquentiellement.

Par exemple, supposons qu'un SIE est soumis à des contraintes électriques (E), thermiques (T), mécaniques (M) et environnementales (A), comme cela est présenté à la Figure 2. Initialement, pendant l'étape A, un vieillissement électrique se produit qui cause un accroissement des pertes diélectriques et aboutit à un ou plusieurs échauffements localisés dans l'isolation. Dans ces régions à température plus élevée, les contraintes environnementales et thermiques deviennent des facteurs de vieillissement et accélèrent les changements chimiques dans l'isolation (étape B). Les changements chimiques peuvent alors agir en augmentant ou diminuant la vitesse de vieillissement totale; un schéma est présenté à la Figure 3. Lorsque les propriétés mécaniques de l'isolation affectée sont détériorées jusqu'à des niveaux critiques qui dépendent des contraintes mécaniques, des craquelures locales apparaissent (étape C). Par la suite, quand ces craquelures atteindront une taille critique, des décharges partielles se produiront et finalement aboutiront à une défaillance complète (étape D). De cette façon, le vieillissement, montré à la Figure 3, n'est pas linéaire dans le temps.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

The ageing factors produce electrical, thermal, mechanical or environmental ageing mechanisms that eventually lead to failure. During ageing, applied stresses, which initially do not affect the EIS, can become ageing factors and, as a result, modify the rate of degradation.

When ageing is dominated by one ageing factor, this is referred to as single-factor ageing. Multifactor ageing occurs when more than one ageing factor substantially affects the ageing of the EIS. Ageing factors can act synergistically, that means, there can be direct interactions between the stresses. Interactions may be either positive or negative.

The ageing of a practical EIS may be complex and failure is usually caused by a combination of ageing mechanisms, even if there is only one dominant ageing factor as, for example, in single-factor ageing.

Where experience or existing knowledge of how a specific EIS will perform in service is limited, the user of this standard shall decide whether single or multifactor test procedures are appropriate for his specific equipment or apparatus.

NOTE The classification of the operational environments of electrical equipment is dealt with in IEC publications prepared by IEC/TC 75, and methods for environmental endurance testing of electrical equipment are described in IEC publications prepared by IEC/TC 50 (notably IEC/SC 50B), see bibliography.

When speaking of environmental effects, this is understood to comprise environments other than the normal standard laboratory atmospheres specified in IEC 60212.

A number of other standards that provide methods of exposure or characterization of insulation are listed in the bibliography.

In functional evaluation tests, ideally duplication of all the ageing mechanisms that occur in service should be included. In practice, this is often difficult to achieve, as the conditions when a particular ageing mechanism is operative cannot be completely known or understood. Several ageing mechanisms may occur either simultaneously or in sequence.

For example, assume that an EIS is subjected to electrical (E), thermal (T), mechanical (M) and environmental (A) stresses as shown in Figure 2. Initially, during step A, electrical ageing occurs which causes an increase in the dielectric losses and results in one or more localized temperature increases in the insulation. In these higher temperature regions, environmental and thermal stresses become ageing factors and accelerate chemical changes in the insulation (step B). The chemical changes can then act to increase or decrease the total ageing rate; an example is shown in Figure 3. When the mechanical properties of the affected insulation have deteriorated to critical levels that depend on the mechanical stresses, local cracks appear (step C). Subsequently, when these cracks reach a critical size, partial discharges will occur and eventually lead to complete failure (step D). Thus the ageing, shown in Figure 3, is not linear with time.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

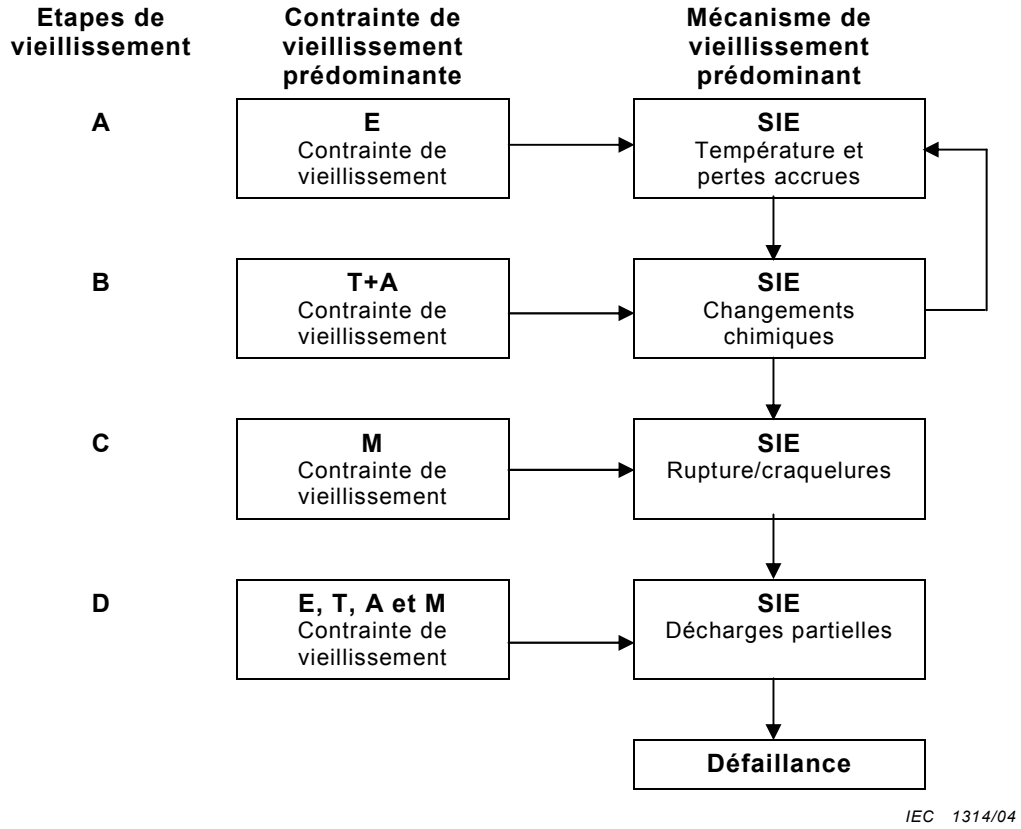


Figure 2 – Exemple de mécanismes de vieillissement possibles en fonction du temps

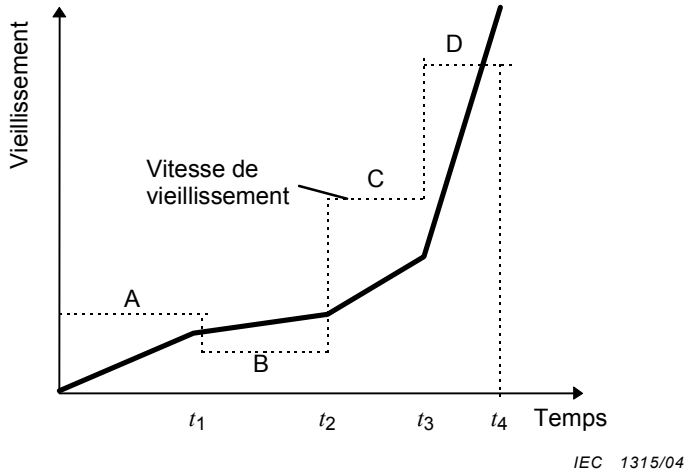


Figure 3 – Vieillissement en fonction du temps pour la Figure 2

En variante, comme cela est présenté à la Figure 4, les changements chimiques dans l'étape B peuvent, en plus, augmenter les pertes diélectriques et aboutir à une augmentation rapide de température, menant à une fusion localisée. Par voie de conséquence, durant l'étape C, la perte de solidité mécanique est suffisante pour causer une défaillance. La caractéristique vieillissement/temps est montrée à la Figure 5.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

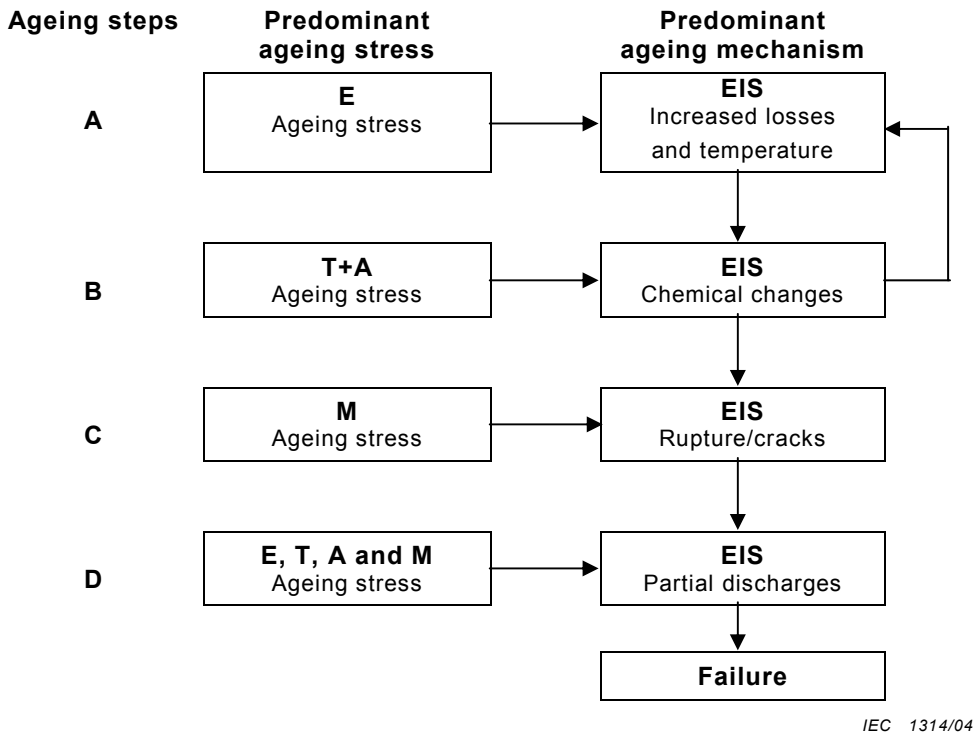


Figure 2 – Example of possible ageing mechanisms as a function of time

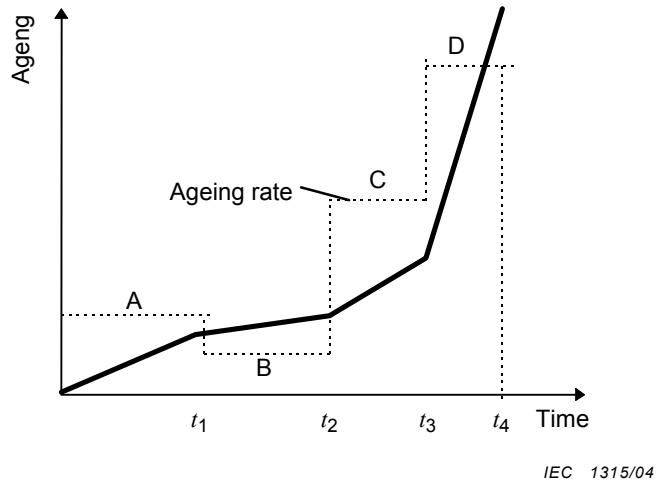


Figure 3 – Ageing as a function of time for Figure 2

Alternatively, as shown in Figure 4, the chemical changes in step B can further increase the dielectric losses and result in a rapid increase in temperature, leading to localized melting. As a consequence, during step C, the loss of mechanical strength is sufficient to cause failure. The ageing/time characteristic is shown in Figure 5.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

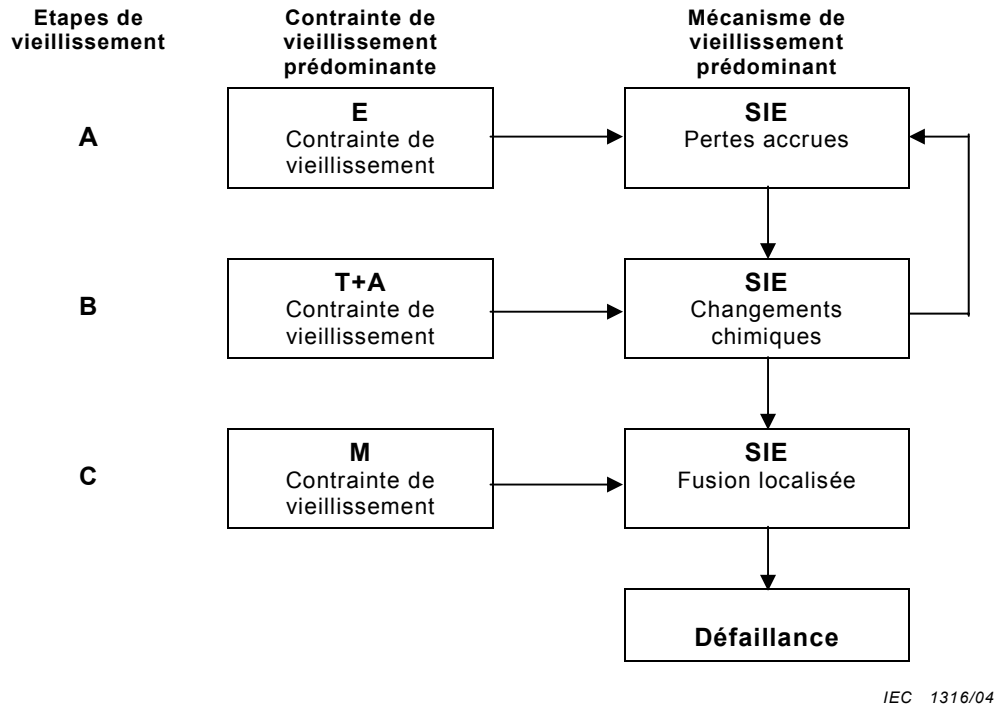


Figure 4 – Exemple de mécanismes de vieillissement possibles en fonction du temps

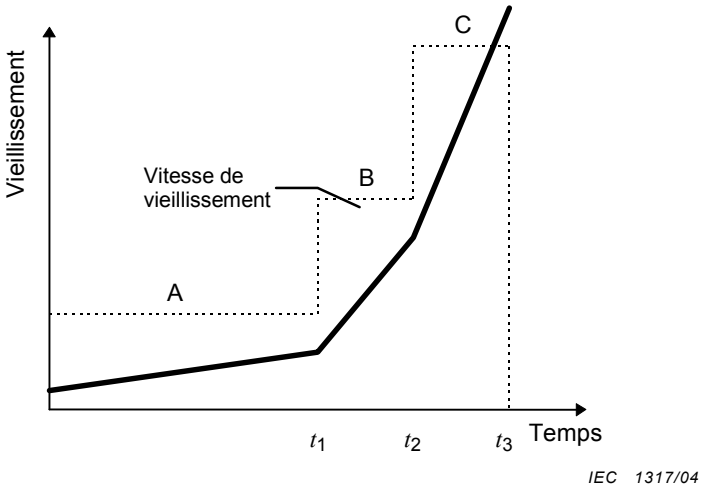


Figure 5 – Vieillissement en fonction du temps pour la Figure 4

Ces deux exemples de vieillissement multifactoriel sont difficiles à reproduire exactement dans des essais fonctionnels.

Les conditions d'essai choisies ne reproduisent pas toujours la durée des phases dans les mêmes proportions et, dans des cas extrêmes, peuvent introduire d'autres modes de défaillance qui ne sont pas observés normalement dans les conditions de fonctionnement. Cela peut aboutir à des erreurs significatives dans la prédiction de la durée de vie en service d'un SIE à partir d'essais fonctionnels.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

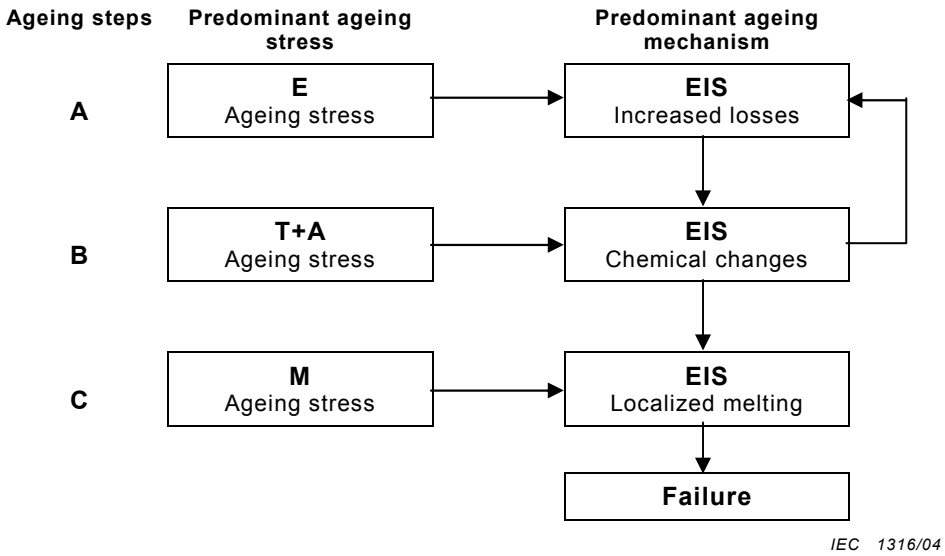


Figure 4 – Example of possible ageing mechanisms as a function of time

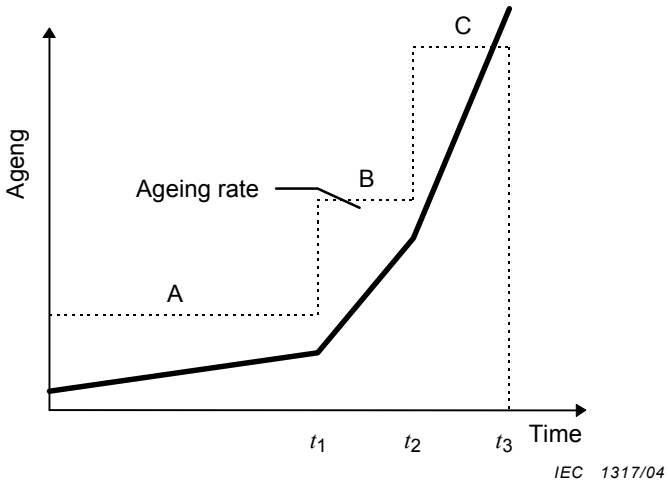


Figure 5 – Ageing as a function of time for Figure 4

These two examples of multifactor ageing are difficult to duplicate in functional tests.

The choice of test conditions does not always produce the duration of the phases in the same proportions and, in extreme cases, can introduce other modes of failure not normally observed under operating conditions. This can result in significant errors when predicting the service life of an EIS from functional tests.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

4.2 Estimation des mécanismes de vieillissement

L'Annexe B présente quatre organigrammes, Figures B.1, B.2, B.3 et B.4, qui décrivent avec quelques détails les vieillissements intrinsèques et extrinsèques d'un SIE, électrique, thermique, mécanique et environnemental respectivement. Chaque organigramme est fondé sur l'expérience en service de différents types de SIE et montre les mécanismes possibles de détérioration et de défaillance qui peuvent se produire pour les différents types de vieillissement et les interactions entre facteurs de vieillissement. Bien que plusieurs mécanismes de défaillance soient présentés, ils n'ont pas la prétention d'être des organigrammes exhaustifs des mécanismes que l'on peut trouver dans les conditions réelles de service de tout matériel. Il est important de noter que le vieillissement qui aboutit finalement à une défaillance est habituellement causé par plus d'un mécanisme.

Il convient d'utiliser ces organigrammes comme suit:

a) comme listes de contrôle pour déterminer les mécanismes de vieillissement du matériel et de l'appareil. Les mécanismes peuvent se produire séquentiellement ou simultanément;

b) pour développer des essais ou cycles d'essais de vieillissement fonctionnels et accélérés. La grandeur et le type des contraintes appliquées et leur durée dépendront de la manière dont elles affectent les mécanismes de vieillissement;

c) pour développer des essais ou des cycles d'essais de diagnostic appropriés pour estimer la condition du SIE.

Sur la base d'une connaissance de l'expérience en service, des conditions de fonctionnement et des propriétés des composants du SIE considéré, il convient que l'utilisateur de la présente norme choisisse un ou plusieurs organigrammes qui présentent le ou les principaux facteurs de vieillissement. Il convient que les différents mécanismes de vieillissement qui aboutissent à la défaillance soient examinés soigneusement en prenant en compte les niveaux de contaminants et de défauts dans le SIE. Il convient qu'un organigramme révisé, qui ne comprend que les mécanismes appropriés de vieillissement, soit produit comme aide dans le développement des cycles d'essais de vieillissement fonctionnels et de diagnostic. Des exemples typiques sont représentés par les Figures B.5 à B.8.

S'il n'y a pas d'information suffisante disponible sur l'expérience en service et/ou les mécanismes possibles de vieillissement, il convient de fonder les conditions de vieillissement sur les niveaux de contrainte les plus sévères attendus en service pour lequel le SIE a été conçu.

4.3 Vieillissement accéléré

L'application de modèles de durée de vie adaptés aux essais de vieillissement accéléré permet d'obtenir des grandeurs pour l'évaluation de l'endurance du matériau (ou des performances dans les conditions de service), particulièrement par rapport aux essais comparatifs réalisés sur un matériau de référence ayant des performances en service connues.

4.3.1 **Vieillissement électrique** (voir Figure B.1)

Le vieillissement électrique (alternatif, continu ou par impulsions) comprend:

a) les effets des décharges partielles lorsque l'intensité du champ local dépasse la rigidité diélectrique dans le diélectrique liquide ou gazeux adjacent au SIE ou inclus dans le SIE;

b) les effets du cheminement;

c) les effets de l'arborisation;

d) les effets de l'électrolyse;

e) les effets, liés aux précédents, sur les surfaces adjacentes de deux matériaux isolants où des champs tangentiels de valeur relativement élevée peuvent se présenter;

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

4.2 Assessment of ageing mechanisms

Annex B presents four flow charts, Figures B.1, B.2, B.3 and B.4, which describe respectively in some detail intrinsic and extrinsic electrical, thermal, mechanical and environmental ageing of an EIS. Each chart is based on the service experience of different types of EIS and shows possible mechanisms of deterioration and failure that can occur for the different types of ageing and the interactions between ageing factors. Although several failure mechanisms are shown, the charts are not intended to be exhaustive of mechanisms that might be found in actual service conditions of all equipment. It is important to note that ageing that leads to the possible failure is usually caused by more than one mechanism.

These charts should be used as follows:

a) as a checklist to determine the ageing mechanisms of equipment and apparatus; the mechanisms can occur sequentially or simultaneously;

b) to develop functional and accelerated ageing tests or test cycles; the magnitudes and types of applied stresses and their duration will depend upon how they affect the ageing mechanisms;

c) to develop suitable diagnostic tests or test cycles to assess the condition of the EIS.

Based on a knowledge of service experience, operating conditions and the properties of the components of the EIS under consideration, the user of this standard should select one or more charts that show the main ageing factor or factors. The various ageing mechanisms that lead to failure should be carefully examined, taking into account the levels of contaminants and defects in the EIS. A revised chart, which only includes the relevant ageing mechanisms, should then be produced as an aid in the development of the functional ageing and diagnostic test cycles. Typical examples are shown in Figures B.5 through B.8.

If there is insufficient information available concerning service experience and/or the possible ageing mechanism, then the ageing conditions should be based upon the most severe levels of stresses expected in service for which the EIS has been designed.

4.3 Accelerated ageing

Application of life models to fit accelerated life tests is to provide quantities for the evaluation of material endurance (or performance under service conditions), particularly in relation to comparative tests performed on a reference material, of known service performance.

4.3.1 **Electrical ageing** (see Figure B.1)

Electric ageing (either a.c., d.c. or impulse) involves:

a) the effects of partial discharges when the local field strength exceeds the breakdown strength in the liquid or gaseous dielectric adjacent to, or included in, the EIS;

b) the effects of tracking;

c) the effects of treeing;

d) the effects of electrolysis;

e) the effects, related to those above, on adjacent surfaces of two insulating materials where tangential fields of relatively high value can occur;

--`,,,,`-`-`,,`,,`,`,,`---
Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

f) les effets de l'accroissement de température produit par des pertes diélectriques élevées;

g) l'effet des charges d'espace.

La Figure B.1 présente le vieillissement électrique intrinsèque/extrinsèque là où les contraintes électriques sont considérées comme le principal facteur de vieillissement. Considérons l'exemple d'un simple SIE composé de deux conducteurs parallèles noyés dans un matériau isolant. Il est connu que des protubérances se rencontrent à la surface des conducteurs et que des impuretés (par exemple particules de poussière, etc.) peuvent être incluses dans l'isolation. La Figure B.1 peut maintenant être simplifiée en organigramme présenté à la Figure B.5 qui montre qu'une injection de charges conduisant à une arborisation électrique est le principal mécanisme de vieillissement. Il convient que le vieillissement accéléré soit donc effectué en utilisant des facteurs de vieillissement qui accroissent l'injection de charges, par exemple une haute tension, et que les essais de diagnostic soient conçus pour permettre la mesure de l'effet des caractéristiques de charges injectées et/ou de décharges partielles.

En pratique, dans beaucoup de SIE, le processus de vieillissement électrique qui mène à la défaillance est complexe, comme cela est présenté à la Figure B.5. Jusqu'à présent aucun modèle mathématique rigide n'a été développé qui prédise pleinement comment les facteurs de vieillissement affectent la durée de vie d'un SIE. Cependant, une fonction empirique, le modèle de puissance inverse, est souvent utilisée pour lier la contrainte électrique alternative et la contrainte électrique continue avec la durée de vie. Celle-ci dit que:

$$L \propto V^{-\mathrm{n}}$$

où

L est la durée de vie;

V est la tension;

n est l'exposant de durée de vie en tension.

Le modèle de loi de puissance inverse prédit une relation linéaire entre la durée de vie et la tension lorsqu'on la trace sur un papier graphique logarithmique. D'autres modèles peuvent être utilisés.

Le vieillissement électrique peut aussi être accéléré par des essais à plus haute fréquence que celle en service normal. Il doit être démontré que l'augmentation de la fréquence ne change pas le mécanisme de vieillissement, dans la plage des contraintes, ni sur le système candidat ni sur le système de référence.

Dans des cas spécifiques, il peut être possible de réaliser des essais d'endurance électriques en augmentant par paliers la contrainte pour chaque objet d'essai. Une relation mathématique définie entre le niveau de contrainte et le temps nécessaire pour atteindre la défaillance et une méthode de réduction des résultats d'essai à une valeur de durée ou de niveau de contrainte commune sont en outre nécessaires. L'Annexe D décrit un exemple pour une telle procédure. Des niveaux de contrainte fixes ou croissants peuvent être utilisés dans les essais cycliques.

4.3.2 **Vieillissement thermique** (voir Figure B.2)

Le vieillissement thermique comprend

a) l'évolution des changements chimiques et physiques qui résultent des réactions de dégradation chimiques, de la polymérisation, de la dépolymérisation, de la diffusion, etc.,

b) les effets thermomécaniques causés par les forces dues à l'expansion et/ou la contraction thermique.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

f) the effects of increased temperatures produced by high dielectric losses;

g) the effect of space charges.

Figure B.1 shows intrinsic/extrinsic electrical ageing where electrical stresses are considered to be the main ageing factor. Consider the example of a simple EIS consisting of two parallel plane conductors embedded in an insulating material. Protrusions are known to occur on the surfaces of conductors, and impurities (e.g., dust particles, etc.) can be included within the insulation. Figure B.1 can now be simplified to the chart shown in Figure B.5 that shows that charge injection leading to electrical treeing is the main ageing mechanism. The accelerated ageing should, therefore, be carried out by using ageing factors that increase charge injection, for example by high voltage, and the diagnostic tests should be designed to enable measurement of the effect of the injected charge and/or the partial discharge characteristics.

In many practical EIS, the electrical ageing process that leads to failure is complex, as shown by Figure B.5. No rigid mathematical models have yet been developed which predict fully how the ageing factors affect the life of an EIS. However, one empirical relationship, the inverse power model, is often used to relate a.c. and d.c. electrical stress with life. This states that:

$$L \propto V^{-\mathrm{n}}$$

where

L is the life expectancy;

V is the voltage;

n is the voltage life exponent.

The inverse power law model predicts a linear relationship between life and voltage when plotted on log-log graph paper. Other models may be used.

Electrical ageing may also be accelerated by testing at a higher frequency than that experienced in normal service. The frequency increase shall have been shown to provide no change of the ageing mechanism, in the stress range, for both candidate and the reference system.

In special cases it may be possible to perform electrical endurance tests with stepwise increasing stress for each test object. A definite mathematical relationship between stress level and time to failure and a method of reducing test results to a common time or a common stress level value is also necessary to specify. Annex D describes an example of such a procedure. Either fixed or increasing stress levels may be used in cyclic tests

4.3.2 **Thermal ageing** (see Figure B.2)

Thermal ageing involves

a) the progress of chemical and physical changes as a consequence of chemical degradation reactions, polymerization, depolymerization, diffusion, etc.,

b) thermomechanical effects caused by the forces due to thermal expansion and/or contraction.

--`,,,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Les augmentations de vitesse des processus chimiques et physiques allant vers l'état d'équilibre thermodynamique sont les causes principales de vieillissement thermique. De nombreux processus de vieillissement simples (par exemple réactions chimiques du premier ordre) suivent, dans les limites d'intervalles de température réduits, l'équation d'Arrhenius, à savoir:

$$L = A \ \exp\left(-E/kT\right)$$

où

L est la durée de vie;

A est une constante;

E est l'énergie d'activation;

k est la constante de Boltzmann;

T est la température absolue.

La durée de vie attendue à une température particulière peut être obtenue par l'extrapolation des données tracées en utilisant des coordonnées logarithmiques de durée de vie en fonction de $1/T$. Pour plus d'information se reporter à la série des CEI 60216.

Des valeurs conseillées pour l'évaluation du SIE peuvent être choisies à partir du Tableau 1. Pour produire un vieillissement accéléré, un minimum de trois températures plus élevées doit être choisi pour les essais. Il convient de choisir la température la plus basse de telle manière qu'un critère de défaillance soit atteint après un minimum de 5 % de la durée de vie attendue en service du système candidat ou après un minimum de 5 000 h pour la température la plus basse. Il convient de choisir les deux plus hautes températures à des intervalles de 20 K. Si plus de trois températures d'essai sont nécessaires, des intervalles de 10 K peuvent être utilisés. Les températures préférentielles de vieillissement sont données dans le Tableau 1.

NOTE 1 Des essais ont confirmé que pour de nombreux SIE, la durée de vie est divisée par deux pour une augmentation de la température approximativement constante dans les limites d'une plage de températures réduite en fonction des MIE concernés. Pour la majorité de ces SIE, l'augmentation de température qui divise la durée de vie par deux a une valeur comprise entre 8 K et 15 K.

NOTE 2 Dans certains cas, la procédure d'essai indiquée ci-dessus peut ne pas être optimale, par exemple dans le cas de matériel à durée de vie courte pour lesquels elle peut donner des températures de vieillissement tellement élevées qu'elles sont impossibles en pratique.

Pour les SIE, dont un ou plusieurs MIE ont des températures de transition (par exemple fusion, ébullition, cristallisation), il convient que la température d'essai maximale soit inférieure au(x) température(s) de transition correspondante(s).

Tableau 1 – Températures de vieillissement

Températures en service °C	**55**	**75**	**90**	**105**	**120**	**130**	**155**	**180**	**200**	**220**	**250**
(Classe de température)	**55**	**75**	**90 (Y)**	**105 (A)**	**120 (E)**	**130 (B)**	**155 (F)**	**180 (H)**	**200**	**220**	**250**
Températures de vieillissement °C	135	155	170	185	200	210	235	260	280	300	330
	125	145	160	175	190	200	225	250	270	290	320
	115	135	150	165	180	190	215	240	260	280	310
	105	125	140	155	170	180	205	230	250	270	300
	95	115	130	145	160	170	195	220	240	260	290
	85	105	120	135	150	160	185	210	230	250	280
	75	95	110	125	140	150	175	200	220	240	270

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

The increases in the rate of chemical and physical processes proceeding towards the state of thermodynamic equilibrium are the major causes of thermal ageing. Many uncomplicated ageing processes (e.g. first order chemical reactions) follow within restricted temperature intervals the Arrhenius equation, i.e.:

$$L = A \ \exp\left(-E/kT\right)$$

where

L is the life expectancy;

A is a constant;

E is the activation energy;

k is the Boltzmann constant;

T is the thermodynamic temperature.

The expected life at a particular temperature can be found by extrapolation of data plotted using log life versus 1/T coordinates. For further information, see IEC 60216.

The suggested values for the evaluation of the EIS can be selected from those shown in Table 1. To produce accelerated ageing, a minimum of three higher temperatures shall be chosen for the tests. The lowest temperature should be selected such that a failure criterion will be reached after a minimum of 5 % of the intended service life of the candidate system or a minimum of 5 000 h for the lowest temperature. The next two highest temperatures should be chosen at 20 K intervals. If more than three test temperatures are needed, then 10 K intervals may be used. Preferred ageing temperatures are listed in Table 1.

NOTE 1 Testing has confirmed that for many EIS, the life is halved for a rise in temperature, which is approximately constant within a restricted temperature range dependent on the EIM involved. For the majority of these EIS, the temperature rise halving the life has a value between 8 K to 15 K.

NOTE 2 In some cases, the above test procedure may not be optimal, for instance in the case of short-life equipment where it may lead to unrealistic high ageing temperatures.

For EIS, where one or more EIM have transition temperatures (e.g. melting, boiling, crystallization), the maximum test temperature should be below the relevant transition temperature(s).

Table 1 – Ageing temperatures

Service temperatures °C	**55**	**75**	**90**	**105**	**120**	**130**	**155**	**180**	**200**	**220**	**250**
(Thermal class)	**55**	**75**	**90 (Y)**	**105 (A)**	**120 (E)**	**130 (B)**	**155 (F)**	**180 (H)**	**200**	**220**	**250**
Ageing temperatures °C	135	155	170	185	200	210	235	260	280	300	330
	125	145	160	175	190	200	225	250	270	290	320
	115	135	150	165	180	190	215	240	260	280	310
	105	125	140	155	170	180	205	230	250	270	300
	95	115	130	145	160	170	195	220	240	260	290
	85	105	120	135	150	160	185	210	230	250	280
	75	95	110	125	140	150	175	200	220	240	270

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

4.3.3 **Vieillissement mécanique** (voir Figure B.3)

Le matériel électrotechnique peut être soumis à des contraintes mécaniques dont l'origine peut être la fabrication, le transport, le montage et le fonctionnement. Pour certains types de matériels, il a été prouvé que la présence, pendant le fonctionnement, de contraintes mécaniques causées par des forces électrodynamiques, électromagnétiques ou d'origine thermique était l'une des causes principales du vieillissement de leur SIE.

Le vieillissement mécanique entraîne

a) la défaillance par fatigue de composants de l'isolation, causée par un grand nombre de cycles de contraintes de faible niveau,

b) des effets thermomécaniques causés par expansion et/ou contraction thermique,

c) la rupture de l'isolation par de hauts niveaux de contraintes mécaniques telles que celles causées par des forces externes ou des conditions de fonctionnement du matériel,

d) l'usure par abrasion causée par le mouvement relatif entre composants du matériel,

e) le glissement ou l'écoulement de l'isolation sous contraintes électriques, thermiques ou mécaniques.

NOTE Ces phénomènes peuvent être localisés et irrégulièrement distribués dans le volume de l'isolation.

4.3.3.1 Présence d'autres facteurs

Il est possible que les contraintes mécaniques deviennent un facteur de vieillissement seulement en présence d'un autre facteur d'influence, par exemple une contrainte mécanique en présence d'un fluide peut provoquer des craquelures dues à l'environnement. Les propriétés mécaniques de beaucoup de systèmes d'isolation varient, notablement, des conditions de température ambiante, lors du démarrage, aux températures de service de pointe. D'autres facteurs d'environnement, tels que les contaminants et l'humidité, peuvent aussi changer les propriétés mécaniques.

Le taux de vieillissement produit par d'autres facteurs peut aussi être influencé directement ou indirectement par la présence de contraintes mécaniques.

4.3.3.2 Types d'essais mécaniques

Il existe, en simplifiant, trois types d'essais:

– essai pour établir que le nouveau matériel (ou nouvel objet d'essai) a été correctement conçu ou fabriqué pour un cycle de service ou un environnement donné;

– essai de diagnostic pour évaluer le matériel en fonctionnement ou comme procédure de diagnostic pour les essais d'endurance d'un SIE;

– essai accéléré pour estimer les performances à long terme d'un SIE.

Les essais du premier type sont effectués depuis de nombreuses années et sont décrits dans la CEI 60068-1 et la CEI 60068-2. En général, ces publications s'appliquent à la dégradation externe due à l'environnement et il convient que l'utilisateur de la présente norme les utilise comme guide lorsqu'un essai fonctionnel de SIE ou un essai de matériel complet inclut des contraintes mécaniques qui sont générées soit de manière externe au matériel soit par l'environnement. Toutefois, les informations données par certaines de ces publications seront également utiles pour l'établissement des procédures détaillées des essais d'endurance mécanique.

Les essais accélérés du troisième type utilisent une contrainte mécanique renforcée comme facteur d'influence de vieillissement pour évaluer les SIE par comparaison. Ces essais sont caractérisés par un vieillissement accéléré comparativement au taux de vieillissement dans les conditions de service normal.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

4.3.3 **Mechanical ageing** (see Figure B.3)

Electrotechnical equipment may experience mechanical stresses from many causes during manufacture, transport, erection and operation. In certain types of equipment, the presence, during operation, of mechanical stresses from electrodynamic, electromagnetic and thermal forces, has been shown to be one of the main causes of changes in their EIS.

Mechanical ageing involves

a) fatigue failure of insulation components caused by a large number of low-level stress cycles,

b) thermomechanical effects caused by thermal expansion and/or contraction,

c) rupture of insulation by high levels of mechanical stress such as can be caused by external forces or operating conditions of the equipment,

d) abrasive wear caused by relative motion between equipment components,

e) insulation creep or flow under electrical, thermal or mechanical stresses.

NOTE These phenomena can be localized and not evenly distributed throughout the volume of the insulation.

4.3.3.1 Presence of other factors

It is possible that mechanical stress will become an ageing factor only in the presence of another factor, e.g. mechanical stress and a fluid can cause environmental stress cracking. The mechanical properties of many EIS change significantly from ambient temperature conditions at equipment start-up to peak service temperatures. Other environmental factors, such as humidity and contaminants, may also change mechanical properties.

The rate of ageing produced by other factors may also be influenced by the presence of mechanical stresses, either directly or indirectly.

4.3.3.2 Types of mechanical testing

There are, broadly speaking, three kinds of tests:

– test to establish that new equipment (or a new test object) is properly designed and manufactured for a specific duty cycle or environment;

– diagnostic test to evaluate equipment in service, or as a diagnostic procedure for endurance tests of an EIS;

– accelerated test to estimate the long-term capability of an EIS.

Testing of the first kind has been carried out for many years and is described in IEC 60068-1 and IEC 60068-2. In general, these publications apply to externally generated environmental damage and the user of the present standard should refer to them for guidance whenever an EIS functional test or an overall equipment test includes mechanical stresses which are generated either externally to the equipment or by the environment. However, the information in some of these publications will also be valuable in establishing the detailed procedures of mechanical endurance tests.

Accelerated tests of the third type utilize intensified mechanical stress as the ageing factor of influence to evaluate EIS comparatively. These tests are characterized by accelerated ageing as compared to the ageing rate under normal service conditions.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

4.3.3.3 Accélération par augmentation de la fréquence

La durée de vie sous fatigue d'un composant de SIE peut être souvent déterminée en accélérant la fréquence de la contrainte. Cette technique peut être utilisée lorsque l'échauffement supplémentaire causé par l'augmentation de l'énergie thermique dissipée dans l'éprouvette est négligeable ou est contrôlée par un refroidissement additionnel.

Des conditions de résonance indésirables ne doivent pas être introduites par l'accélération de la fréquence. Si elles apparaissent, l'amplitude de la contrainte appliquée peut largement dépasser les limites désirées et invalider les résultats; c'est pourquoi, il faut connaître l'amplitude de la contrainte et de la contrôler à tout moment.

Les SIE peuvent être sensibles au taux d'application de la contrainte mécanique et, par conséquent, présenter des changements non linéaires du taux de vieillissement lorsque la fréquence de la contrainte mécanique cyclique est augmentée. Une preuve possible du changement de réponse peut être établie en comparant les courbes d'hystérésis mécaniques ou des formes d'ondes obtenues avec la contrainte et la fréquence de service avec des courbes similaires à des fréquences supérieures choisies pour l'accélération de vieillissement. Ces phénomènes peuvent être contrôlés en imposant des limites sur les changements admissibles de la forme de ces courbes durant les essais mécaniques fonctionnels accélérés.

4.3.3.4 Accélération du taux de répétition

Certains types de contraintes mécaniques subies par des SIE en service sont de nature périodique ou aléatoire et ne sont pas appliquées de manière continue. Les contraintes mécaniques causées par des transitoires électriques dues aux démarrages, aux arrêts, aux commutations, aux changements de charge ou à d'autres aspects du cycle de service peuvent être accélérées en réduisant l'intervalle entres les applications des contraintes par rapport à ce qui est attendu en service. Cela peut être réalisé sans augmenter ni l'amplitude ni la fréquence de contrainte mécanique et permet, dans de nombreux cas, d'accélérer les essais de manière importante sans changer les mécanismes de vieillissement. Il convient de veiller à ce que l'augmentation du taux d'application de la contrainte ne cause par d'échauffement excessif de l'isolation en essai.

4.3.3.5 Accélération par augmentation du niveau de contrainte

Le vieillissement mécanique d'un SIE obtenu par une augmentation importante des niveaux de contrainte est plus rarement utilisé, sauf pour les essais de fluage. Toutefois, des contraintes légèrement plus élevées que les contraintes de service sont fréquemment utilisées pour fournir une marge de sécurité et elles sont souvent utilisées avec une augmentation de la fréquence ou du taux de répétition.

4.3.4 **Vieillissement environnemental** (voir Figure B.4)

Le vieillissement environnemental implique tous les processus physiques ambiants, radiatifs, chimiques et biologiques. Les facteurs environnementaux peuvent aussi influencer, de différentes manières, le genre et le degré de dégradation causés par d'autres contraintes auxquelles un SIE est exposé. En l'absence de tels effets, il peut y avoir une détérioration d'autres parties du matériel.

4.3.4.1 Humidité

Des matériaux différents absorbent différentes quantités d'eau et la présence d'eau absorbée peut affecter les matériaux de différentes manières.

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 structures de contrainte électrique et des pertes diélectriques accrues.

--`,,,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

4.3.3.3 Acceleration by frequency increase

The fatigue life of an EIS component may often be conveniently determined by accelerating the stress frequency. This technique may be used when the additional heating caused by the increased thermal energy dissipated in the specimen is negligible, or is controlled by additional cooling.

Unwanted resonance conditions shall not be introduced by frequency acceleration. If they occur, the amplitude of stress application may significantly exceed desired limits and invalidate the results; therefore, the stress amplitude must be known and controlled at all times.

EIS may be sensitive to the rate of mechanical stress application and thus experience non-linear changes in ageing rates as the frequency of cyclic mechanical stress is increased. Possible evidence of change in response may be found by comparing mechanical hysteresis curves, or wave shapes, at service stress and frequency with similar curves at higher frequencies desired for ageing acceleration. Some control over these phenomena may be obtained by imposing limits on the allowable changes in the shape of these curves during accelerated mechanical functional testing.

4.3.3.4 Repetition rate acceleration

Some types of mechanical stress experienced by EIS in service are of a random or periodic nature and not continuously applied. Mechanical stresses caused by electrical transients due to starting, stopping, switching, load changing or other aspects of the duty cycle may be accelerated by decreasing the interval between applications of the stresses relative to that expected in service. This can be done without increasing either the amplitude or the frequency of mechanical stress and permits, in many cases, significant acceleration of testing without change of ageing mechanisms. Care should be exercised to ensure that the increased rate of stress application does not cause excessive heating of the insulation under test.

4.3.3.5 Acceleration by stress level increase

The mechanical ageing of an EIS by greatly increasing the stress levels is less generally practised, except in creep studies. However, stresses moderately higher than service stresses are commonly used to provide a safety factor and are often used in a frequency or repetition rate acceleration.

4.3.4 **Environmental ageing** (see Figure B.4)

Environmental ageing involves all ambient physical, radiative, chemical and biological processes. Environmental factors can also influence, in various ways, the kind and degree of degradation caused by other stresses to which an EIS is exposed. In the absence of such effects, deterioration of other parts of the equipment may be produced.

4.3.4.1 Moisture

Different materials absorb various amounts of water and the presence of absorbed water may affect materials in different ways.

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

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

La moiteur comme la forte humidité, la pluie, la glace 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 synergique peut se produire entre le champ électrique et l'humidité dans quelques polymères pour former des excroissances arborescentes, généralement désignées par le terme arborescences aqueuses qui peuvent influencer notablement la rigidité diélectrique.

4.3.4.2 Oxygène

Les propriétés mécaniques et électriques des matériaux polymères peuvent être altérées par une oxydation accélérée par des températures élevées ou le rayonnement ultraviolet solaire, même à température ambiante. Généralement, l'oxydation produit des changements, qui donnent soit un matériau durci, rigide soit une masse plastique ou visqueuse. En partant de la surface, certains matériaux continueront à durcir et certains à se ramollir tandis que d'autres présenteront un durcissement initial suivi par un ramollissement ou l'inverse. Tous ces processus sont irréversibles. Le degré d'oxydation sera affecté par des facteurs tels que le type de polymère, le type et la densité de réticulation, la teneur en additifs tels les anti-oxydants et les charges, la vitesse de pénétration de l'oxygène à l'emplacement étudié, etc.

4.3.4.3 Produits chimiques

L'attaque par des produits chimiques peut amener une détérioration des capacités physiques et électriques de l'isolation.

Des considérations similaires s'appliquent dans les essais fonctionnels des SIE à plusieurs composants, pour lesquels les produits de la dégradation d'un matériau composant peuvent endommager d'autres matériaux ou le matériel d'essai.

Il convient de prendre des précautions supplémentaires pour choisir un matériau sur la base de données de caractéristiques de performances obtenues à partir de tableaux de résistance chimique. Dans beaucoup de cas, ces caractéristiques sont tirées 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 concernés. Cet avertissement s'applique également dans le cas de matériaux définis de manière précise, et non juste désignés de manière vague par leur type générique ("polyéthylène", "époxyde").

De même, les tableaux de résistance chimique contiennent généralement des données obtenues avec des éprouvettes sans charge mécanique ou avec une faible charge mécanique. Fréquemment, des tendances à la fissuration sous contrainte au moment de l'application de la charge mécanique ne sont prises en compte et des effets synergiques défavorables, semblables à l'effet connu de contrainte mécanique-ozone dans le caoutchouc naturel sont souvent oubliés.

NOTE Des essais de compatibilité servent à révéler de telles interactions au cours du développement d'un SIE pour des exigences de service spécifiques.

4.3.4.4 Agents biologiques

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

--`,,,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

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 that can greatly influence the electric strength.

4.3.4.2 Oxygen

Mechanical and electrical properties of polymeric materials can be made worse by oxidation accelerated by high temperature, or by ultraviolet radiation from the sun, 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, or the reverse. All these processes are irreversible. The degree of oxidation will be affected by factors such as the type of polymer, type 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.

4.3.4.3 Chemicals

Attack by chemicals may result in deterioration of the physical and electrical capability of the insulation.

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

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 separately. 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 EIS for specific service requirements.

4.3.4.4 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 important to establish the resistance to biological attack under conditions favourable for attack, namely hot and humid conditions.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

4.3.4.5 Exposition aux intempéries

L'exposition aux intempéries affecte, dans une certaine mesure, tous les matériaux et inclut les effets de variations de température et d'humidité, de la pluie, de la neige, de la glace, du vent, des contaminants présents dans l'atmosphère ainsi que la chaleur et les rayonnements ultraviolets du soleil. Dans de telles conditions, la surface d'un MIE peut être modifiée de manière permanente, physiquement par dépolissage et fissuration, chimiquement par des réactions de réticulation et/ou de scission de chaînes, 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 plus hydrophile et l'eau pénétrera plus facilement dans le volume du matériau. Un dépôt blanchâtre, ou farinage, intervient souvent après le vieillissement sur les matériaux qui contiennent des particules de trihydrates d'aluminium, de la poudre de silice ou d'autres charges, le dépôt étant habituellement formé de particules de charges provenant du MIE. Pour certains matériaux polymères, l'exposition aux intempéries induit un durcissement de la surface, ou une fragilisation, généralement sur une très faible profondeur (moins de 0,1 mm) qui peut conduire à des micro-fractures. Ce phénomène est décrit comme une craquelure.

4.3.4.6 Contaminants

Les matériaux isolants utilisés à l'extérieur sont soumis à différentes formes de contaminants présents dans l'air, qui peuvent provenir de sources naturelles, mais qui sont souvent d'origine artificielle. En présence d'humidité et d'une contrainte électrique, de nombreux contaminants produisent une conduction non uniforme en surface et accroissent le risque de formation d'une bande sèche et de séchages en surface. La chaleur et les agents réactifs produits par ces décharges peuvent décomposer l'isolation, formant des chemins charbonneux sur certains matériaux et provoquent une érosion sur d'autres. La propagation des chemins charbonneux peut shunter les conducteurs et provoquer une défaillance. L'érosion peut provoquer une défaillance mécanique. Un érosion même limitée peut piéger la poussière et l'humidité de telle façon que le nettoyage de la surface soit plus difficile.

Comme la poussière et les fibres sont attirées par les isolateurs à haute tension continue, la conductance en surface est susceptible d'augmenter plus rapidement qu'avec les isolateurs en courant alternatif avec la même contrainte. Les décharges de bande sèche sont d'une plus grande durée avec les isolateurs en continu qu'en alternatif, ce qui provoque un échauffement plus important et une dégradation en surface et une défaillance plus rapides.

Dans les matériels blindés, l'isolation peut être exposée à l'ozone et aux oxydes d'azote produits par les décharges d'étincelles qui peuvent provoquer la corrosion des conducteurs et la fissuration sous contrainte des isolations.

4.3.4.7 Conditions environnementales spéciales

Les vibrations mécaniques, les chocs ou l'expansion thermique et la contraction thermique, provenant soit de l'environnement externe soit du fonctionnement, peuvent produire des fissures dans l'isolation. Des fissures de fatigue peuvent se développer lentement sur une longue durée. 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 de la glace sur les conducteurs, peuvent conduire à une défaillance de l'isolation à cause d'une charge excessive de traction sur les isolateurs aériens.

De hautes pressions dans certains types de matériels 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.

--`,,,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

4.3.4.5 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 EIM 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 EIM. 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.

4.3.4.6 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.

4.3.4.7 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.

--`,,,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

4.3.4.8 Conditions d'environnement sous rayonnement

Ce sont des conditions environnementales très spéciales et difficiles pour l'isolation électrique, comprenant l'exposition aux particules à haute énergie et au rayonnement électromagnétique. Ces facteurs causent en général la détérioration des propriétés physiques. Les détails des effets du rayonnement et de l'oxygène et d'autres facteurs connexes, sont décrits dans la CEI 60544-1 (voir Annexe A).

4.3.4.9 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 qui entoure et/ou fait partie du SIE. Cela abaisse non seulement la résistance au contournement mais également la tension de seuil de décharge. Les niveaux des rayonnements ionisants sont également plus élevés dans l'espace qu'au niveau de la mer. Ainsi, il convient de tenir compte des taux de dégazage de MIE et des effets des rayonnements ionisants sur les matériaux. De plus en plus, beaucoup d'applications militaires exigent le degré maximal possible de réticulation. On doit également tenir compte de l'érosion des matériaux par l'impact des particules à haute énergie, telles que l'oxygène atomique et les effets possibles des températures basses et des cycles thermiques.

4.3.4.10 Vide

Quand on considère des conditions de vide poussé comme celles atteintes par une exposition prolongée dans l'espace au-dessus de l'atmosphère, la pression de vapeur du SIE et son dégazage sont importants au moment de la période de mise sous vide. Il est important de laisser un temps suffisant pour un dégazage complet. Ces 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 à haute énergie et de rayonnement électromagnétique, aucun problème n'est à craindre après obtention du vide poussé. Cependant, lorsque de telles particules et un tel rayonnement existent, 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.

5 Eléments pour préparer une méthode d'évaluation

La préparation de méthodes pour l'évaluation d'un SIE demande un examen soigneux de la méthodologie (voir Figure 6):

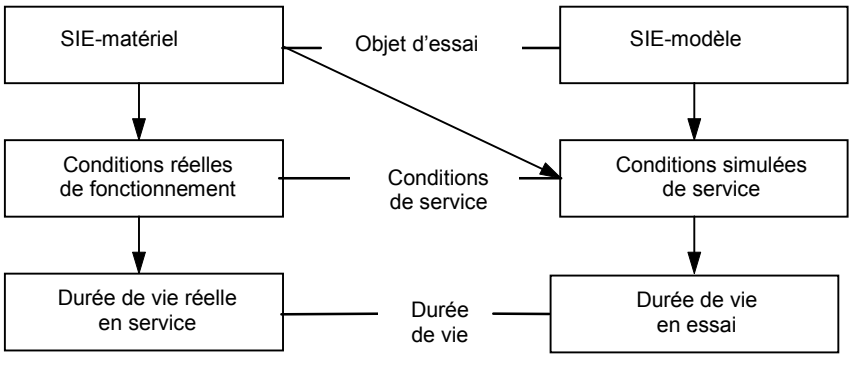


Figure 6 – Méthodologie des méthodes d'évaluation

--`,,,,`-`-`,,`,,`,`,,`---
Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

4.3.4.8 Radiation environmental conditions

These represent very special and difficult environmental conditions for electrical insulation, involving exposure to high energy 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 60544-1 (see Annex A).

4.3.4.9 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/or part of the EIS. This not only lowers the flashover strength, but also decreases the discharge inception voltage. Levels of ionizing radiation are also higher in aerospace than at sea level. Thus, outgassing rates of EIM and the effects of ionizing radiation on the materials should be considered. Increasingly, many military applications require the maximum degree of cross-linking 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.

4.3.4.10 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 EIS 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 high energy 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.

5 Elements for preparing an evaluation method

The preparation of methods for EIS evaluation requires careful consideration of the methodical elements (see Figure 6):

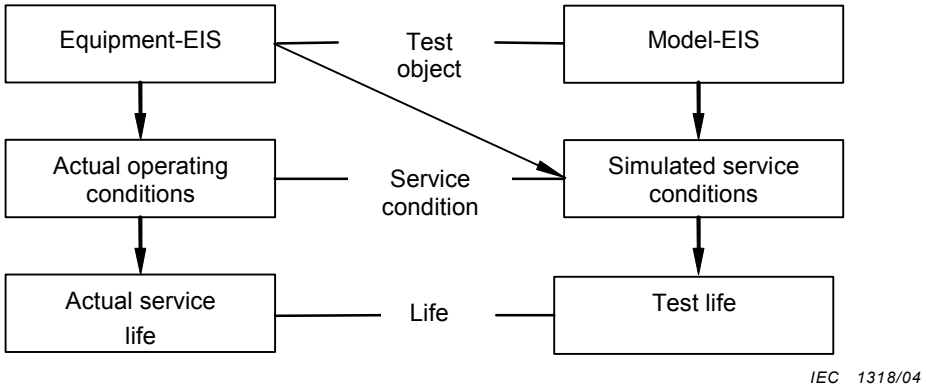


Figure 6 – Method elements of evaluation methods

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

5.1 Objet

Le SIE objet est soit un système éprouvé en service, un nouveau SIE (candidat), une partie de composant, ou un modèle du matériel électrique original. En général, il sera intéressant d'obtenir un maximum d'informations techniques sur le SIE, puisque cela peut être nécessaire si des SIE modèles doivent être fabriqués.

5.2 Conditions de service

Il convient de connaître les conditions de service du matériel électrique dont le SIE est une partie; celles-ci peuvent être disponibles à partir des informations suivantes:

a) les valeurs fixées des contraintes lorsqu'un matériel et/ou un SIE nouveaux sont conçus pour des conditions spéciales de service, y compris environnement et charge;

b) les données de service lorsqu'un SIE éprouvé en service doit être évalué. Les niveaux de contrainte peuvent alors être définies par des intervalles de contrainte ou par des limites de contrainte maximale enregistrées, liées aux valeurs de charge, indiquant la relation temps/contrainte;

c) les conditions connues de service d'un système de référence qui a déjà été qualifié sur la base de données de service et auquel un SIE candidat sera comparé grâce à des essais fonctionnels parallèles dans des conditions de service comparables et même égales.

NOTE Les essais accélérés exigent la vérification de mécanismes de vieillissement identiques ou équivalents aux mécanismes dans les conditions de fonctionnement en service.

5.3 Valeurs de durée de vie

Les valeurs de durée de vie sont liées au SIE et aux conditions de service. Elles doivent être disponibles sous la forme de l'une des variantes suivantes:

a) temps jusqu'à défaillance du SIE en service (fin de vie);

b) durée de vie sans défaillance;

c) durée de vie en essai fonctionnel d'un SIE jusqu'au critère de point limite avec ou sans essai accéléré.

NOTE La connaissance du taux de défaillance d'un système quelconque est fondamentale pour conclure à l'inférence de la fiabilité d'un système.

6 Méthodes d'évaluation fonctionnelle pour qualifier un SIE

6.1 Considérations générales

Le processus de spécification d'une méthode d'évaluation fonctionnelle doit tenir compte des données techniques et des données liées au service concernant le SIE ainsi que des mécanismes de vieillissement déterminant la durée de vie. Une facilité d'utilisation est attendue par les utilisateurs et il convient que le processus spécifié soit aussi simple que possible sans négliger les prescriptions essentielles. Des considérations économiques demandent des moyens rentables pour résoudre la tâche du SIE et dans des cas spéciaux, par exemple, en cas d'évaluation d'un SIE éprouvé en service auquel des changements mineurs ont été apportés, des critères simplifiés spéciaux peuvent être utilisés. Les paragraphes suivants décrivent les étapes du processus de spécification de la méthode d'évaluation.

6.2 Types de procédures d'évaluation

En fonction de l'origine des données nécessaires pour l'évaluation d'un SIE candidat, on distingue trois types de procédures (voir Figure 7). Lors du choix de la procédure d'essai, l'utilisateur de la présente norme peut utiliser l'organigramme de la Figure 1, qui présente, de gauche à droite, une série de "performances" par influence décroissante de l'expérience en service directe et par influence croissante des conditions de service définies.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

5.1 Object

The EIS object can be either a service-proven, a new (candidate) EIS, a component part or a model of the original electrical equipment. Generally, a maximum of technical information about the EIS will be advantageous, as such information may be necessary if EIS models are to be built.

5.2 Service conditions

Service conditions for the electrical equipment, of which the EIS forms a part, should be known, and may be available from the following:

a) the designated stress figures when new equipment and/or an EIS are designed for special service conditions, including environment and duty;

b) service records when a service-proven EIS has to be evaluated. Stress levels may then be defined by stress intervals or by reported maximum stress limits related to duty figures indicating the stress-time relation;

c) the known service conditions of a reference system that has already been qualified on the basis of service records and to which a candidate EIS will be compared by parallel functional testing under comparable or even equal service conditions.

NOTE Accelerated testing requires verification of identical or equivalent ageing mechanisms compared to the mechanisms under operating service conditions.

5.3 Life values

Life values are related to EIS and service conditions. They shall be available as one of the following variants:

a) EIS service time to failure (end-of-life);

b) service life without failure;

c) functional test life of EIS to end-point criterion with or without test acceleration.

NOTE The knowledge of the failure rate of any system is fundamental for system reliability inference.

6 Functional evaluation methods to qualify an EIS

6.1 General considerations

The process of specifying a functional evaluation method has to take into account the technical and service-related inputs concerning the EIS and of the life determining ageing mechanisms. Practicability is expected by users, and the specified process should be as simple as possible without neglecting essential requirements. Economic considerations demand cost-effective means to solve the task of EIS, and in special cases, for instance in evaluation of a service-proven EIS after minor changes, special simplified criteria may be used. The following subclauses describe the process steps of specifying the evaluation method.

6.2 Types of evaluation procedures

Depending on what source supplies the necessary data for the evaluation of a candidate EIS, three types of procedure are distinguished (see Figure 7). When selecting the test procedure, the user of this standard may use the flow chart in Figure 1, which presents, from left to right, a sequence of "performances" with decreasing influence of direct service experience and increasing influence of defined service conditions.

--`,,,,``-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

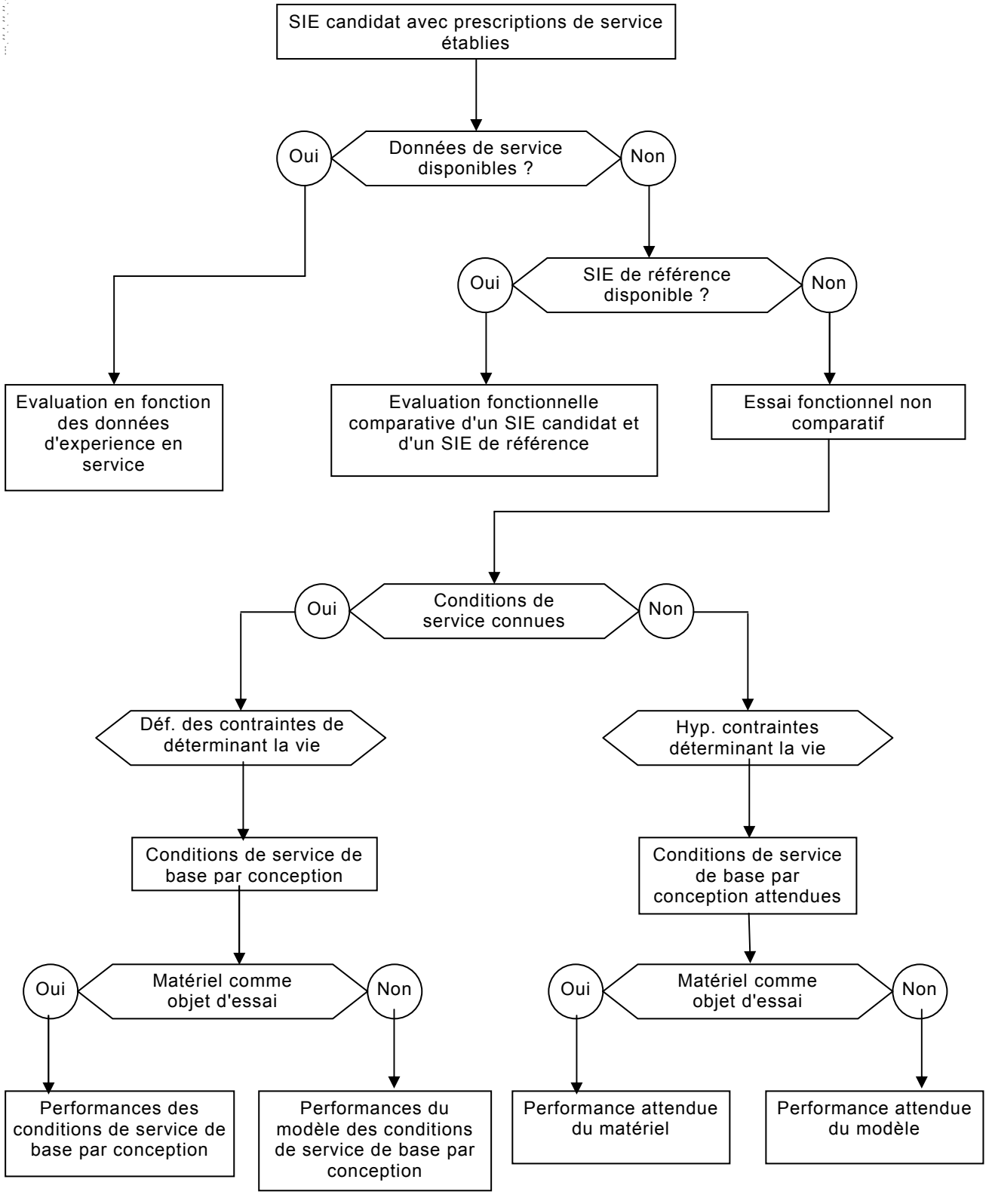


Figure 7 – Type de procédure d'évaluation

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

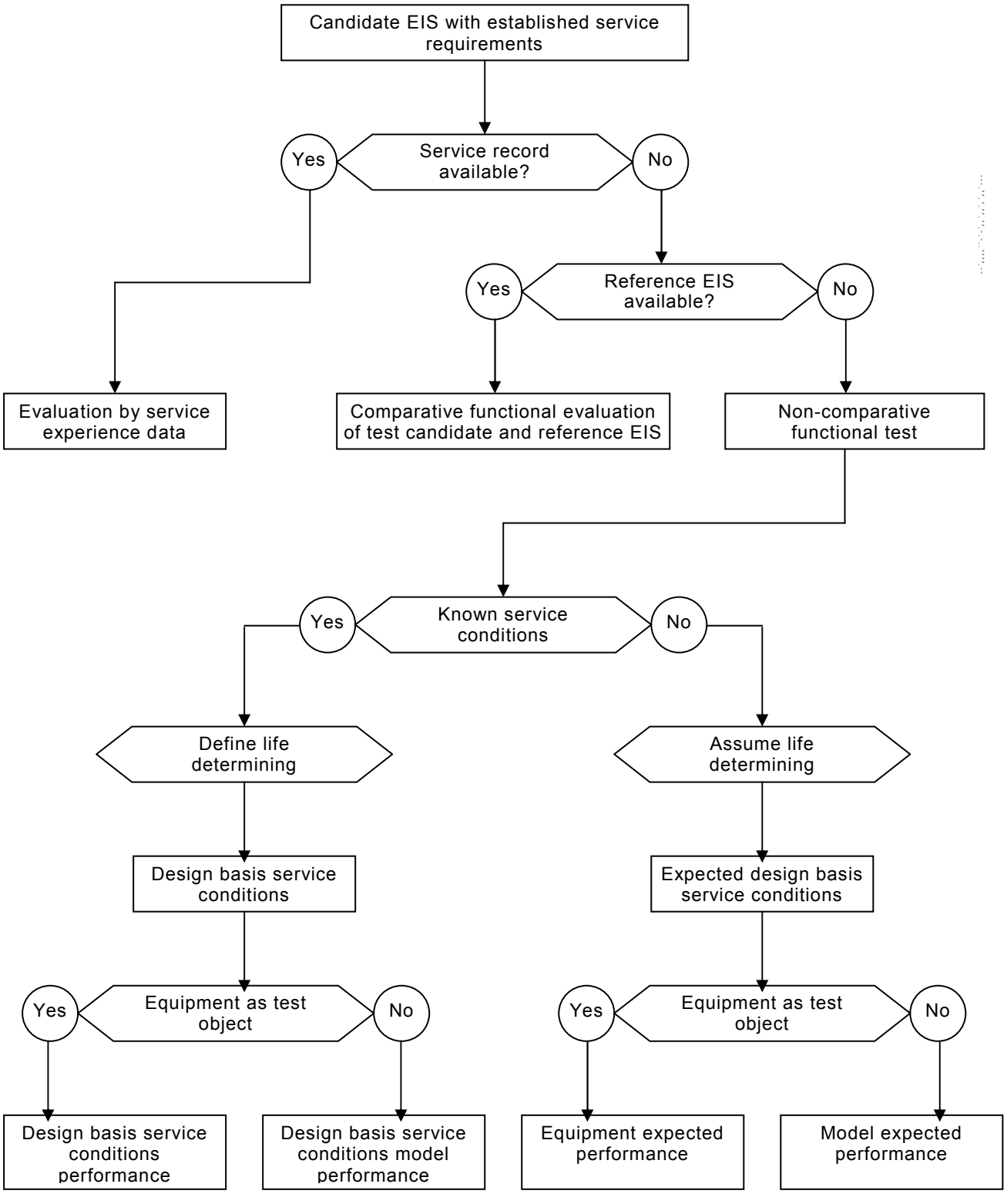


Figure 7 – Type of evaluation procedure

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

6.2.1 Evaluation en fonction des données de l'expérience en service

Il convient que l'utilisateur de la présente norme établisse des règles de qualification d'un SIE ayant démontré les performances montrées dans l'expérience dans les conditions de service réelles. Ces règles seront nécessaires pour chaque type particulier de matériel; il faut prouver que les données de performance sont comparables et qu'elles peuvent être ensuite traitées de manière statistique comme groupe cohérent.

Les données de service sur les conditions de service, la durée de service sans ou jusqu'à défaillance, les résultats de maintenance, etc., sont utilisés de préférence pour l'évaluation.

La liste de contrôle A.1 est un formulaire pour le rassemblement des données en service. Suivant le type spécial de matériel et de SIE, la liste peut être augmentée ou réduite.

Les catégories indiquées ci-dessous peuvent être utiles pour faciliter le choix d'une procédure d'évaluation appropriée pour une acquisition de données relatives à l'expérience en service ainsi que le choix d'un SIE de référence pour un essai fonctionnel comparatif. Il peut exister d'autres catégories pour lesquelles les comités d'études de matériels devront établir des règles spéciales pour l'évaluation des données de l'expérience en service.

– Longue durée de vie, gros matériel

  Quelques unités, la plupart ou toutes utilisées pour déterminer l'expérience en service.

– Longue durée de vie, petit matériel

  Généralement, mais pas systématiquement, nombreuses unités, faible connaissance des données des utilisateurs; un échantillonnage statistique peut être utilisé pour déterminer l'expérience en service.

– Courte durée de vie, gros matériel

  Quelques unités, généralement toutes utilisées pour déterminer l'expérience en service.

– Courte durée de vie, petit matériel

  Généralement, mais pas systématiquement, très nombreuses unités, connaissance faible ou nulle des données des utilisateurs; l'évaluation peut se fonder sur un nombre statistiquement significatif d'échantillons ayant été utilisés dans des conditions normales de service.

Les données de service peuvent souligner différents points de vue, suivant les auteurs qui peuvent représenter le constructeur ou l'utilisateur du matériel, les organismes d'essai, les compagnies d'assurance ou autres.

Il convient que les données d'expérience en service incluent toutes les conditions de service appropriées auxquelles le SIE est exposé. Pour un traitement quantitatif, les données doivent être limitées à des systèmes très semblables.

Dans certains cas, les défaillances peuvent ne pas être représentatives de la détérioration résultant d'un service normal mais peuvent être causées par des défauts de fabrication, des dommages dus au transport, à un entreposage de qualité médiocre et à d'autres conditions défavorables, telles que celles dues à des défaillances d'autres composants. Il peut être nécessaire d'accorder un traitement spécial à cette catégorie de défaillance et de ne pas les inclure dans les données de l'expérience en service utilisées pour l'élaboration de données statistiquement significatives. De plus, le terme "défaillance" peut signifier une autre condition que le claquage proprement dit de l'isolation.

Il existe trois types de valeurs de valeurs de vie comme indiqué au 5.3, le groupe le plus courant étant le groupe b):

a) toutes les données de performance sont obtenues à partir des résultats de défaillances en service comme critère de point limite;

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

6.2.1 Evaluation by service experience data

The user of this standard should establish rules for qualifying an EIS as having proven performance as shown by experience under actual service conditions. These rules will be required for each specific type of equipment; the performance data must be proven to be comparable and may then be treated statistically as a self-consistent group.

Service records concerning service conditions, service time without or until failure, results of maintenance, etc., are preferably used for evaluation.

Checklist A.1 is a form for collection of service data. Depending on the special type of equipment and EIS, the list may be supplemented or reduced.

The categories listed below may be useful as an aid in selecting an appropriate evaluation procedure for a collection of service experience data and in choosing a reference EIS for a comparative functional test. There may be other categories, which will require the equipment technical committees to develop special rules for the evaluation of service experience data.

– Long life, large equipment

  Few units, most or all with recorded service experience.

– Long life, small equipment

  Usually, but not always, many units, poor knowledge of users' data; statistical sampling may be used to determine service experience.

– Short life, large equipment

  Few units, generally all with recorded service experience

  Few units, generally all used to determine service experience.

– Short life, small equipment

  Usually, but not always, very many units, poor or no knowledge of users' data; evaluation may be based on a statistically significant number of samples that were exposed to normal service conditions.

Service records can emphasize different points of view, depending on the authors representing the manufacturer or the user of the equipment, testing organizations, insurance companies or others.

Service experience data should include all relevant service conditions to which the EIS is exposed. For quantitative treatment, data shall be restricted to very similar systems.

In some cases, failures may not be representative of deterioration resulting from normal service but may be caused by errors in manufacture, damage due to transportation, poor storage, and other adverse conditions, such as those caused by failures of other components. It may be necessary to give special treatment to this class of failure and not include them in the service experience records used to develop meaningful statistical data. Also, the term "failure" may signify a condition other than the actual breakdown of the insulation.

There are three kinds of life values as mentioned in 5.3, the most common being group b):

a) performance data are all obtained from records of service failure as an end-point criterion;

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

b) les données de performance sont obtenues en partie à partir des défaillances en service et en partie à partie de « l'expérience en service sans défaillance".

c) toutes les données de performance sont obtenues à partir de « l'expérience en service sans défaillance".

Comme exemples d'informations obtenues à partir de l'expérience en service, on peut citer:

– les heures de service d'unités distinctes de matériel dans des conditions définies;

– le nombre d'unités de matériel en fonctionnement pour des applications spécifiques;

– la description d'un SIE de référence avec rapport sur l'expérience en service utilisé par le fabricant du matériel.

Lorsqu'une quantité suffisante de données relatives aux défaillances en service (ou de fonctionnement sans défaillances) est disponible, il est souhaitable d'utiliser des techniques d'analyse statistique pour qualifier un SIE pour une application particulière ou pour établir les performances d'un système de référence. Ces performances peuvent être exprimées comme la durée moyenne jusqu'à la première défaillance, la durée moyenne jusqu'à la défaillance médiane, la durée moyenne entre défaillances ou par d'autres données. Une telle connaissance permettra de réaliser des comparaisons précoces au cours de la vie en service des systèmes. Des techniques utilisant les méthodes bayésiennes sont actuellement en cours de développement pour obtenir des estimations des paramètres de défaillance et elles pourraient être utilisées, sous réserve de leur applicabilité.

La présentation de données numériques précises ne sera pas toujours possible en pratique. Dans de tels cas, il convient d'utiliser toute information disponible sur l'expérience en service qui fournisse une estimation exacte de ses aspects appropriés compte tenu de la limitation de l'information.

Qualifié sur la base de données en service, un SIE peut alors servir de SIE de référence pour des essais fonctionnels comparatifs.

6.2.2 Évaluation fonctionnelle comparative d'un SIE candidat et d'un SIE de référence

Cette approche est préférée si un SIE de référence est déjà qualifié par une évaluation fonctionnelle sur la base de l'expérience en service ou d'essais fonctionnels. Le SIE candidat et le SIE de référence sont soumis à un traitement de vieillissement identique ou correspondant et leur condition contrôlée par des essais de diagnostic équivalents.

6.2.3 Comparaison de données d'essais fonctionnels d'un SIE candidat avec des prescriptions de service

Sans SIE de référence et sans expérience en service, le SIE candidat est soumis à des essais qui vérifient la conformité avec un ensemble bien défini de prescriptions de service.

Cette approche peut être utilisée dans le cas de nouvelles applications de SIE (nouveau SIE, nouveau matériel, nouvelles conditions de fonctionnement). Il convient que l'essai fonctionnel satisfasse aux prescriptions de service stipulées et puisse prouver l'aptitude du SIE à répondre à la durée de vie prescrite.

Même si des essais fonctionnels comparatifs approuvés peuvent fournir une idée valable des performances d'un nouvel SIE, il est important de garder à l'esprit que le critère ultime de comparaison des SIE est leurs performances de service relatives. Il convient que l'utilisateur de la présente norme recommande un examen et un rapport périodiques des organismes d'essai concernant les performances en service des SIE, qui ont été adoptées comme le résultat d'essais fonctionnels comparatifs. Un tel examen aidera à déterminer si la procédure d'essai fonctionne comme prévu et fournira un guide pour les modifications appropriées.

--`,,,,``-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

b) performance data are obtained partly from service failures and partly from "service experience without failure".

c) performance data are all obtained from "service experience without failure".

Examples of information obtainable from service experience are as follows:

– service times of distinct pieces of equipment under defined conditions;

– number of pieces of equipment in operation for specific applications;

– description of a reference EIS with a record of its service experience.

Whenever sufficient data on service failures (or operation without failures) are available, it is desirable to use statistical analysis techniques to qualify an EIS for the particular application or to establish the performance of a reference system. This performance can be expressed in such terms as mean time to first failure, mean time to median failure, mean time between failures or others. Such knowledge will allow comparisons to be made early in the service life of the systems. Techniques are currently being developed using Bayesian statistics to obtain estimates of failure parameters and might be considered, when available.

Presentation of precise numerical data will not always be possible in practice. In such cases, all available information about service experience which provides a true assessment of its relevant aspects should be used, considering the limitation of information.

Qualified on the basis of service records, an EIS may then serve as a reference EIS for comparative functional tests.

6.2.2 Comparative functional evaluation of candidate and reference EIS

This approach is preferred if a reference EIS is already qualified by functional evaluation on the basis of service experience or functional tests. The candidate and the reference EIS are submitted to identical or corresponding ageing treatment and their condition monitored by equivalent diagnostic tests.

6.2.3 Comparison of functional test data of a candidate EIS with service requirements

Without a reference EIS the candidate EIS is subjected to tests that verify its compliance with a well-defined set of service requirements.

This approach may be used in the case of new EIS applications (new EIS, new equipment, new operating conditions). The functional test should meet the stipulated service requirements and be able to prove the ability of the EIS to meet the required life.

Whereas approved comparative functional tests may provide valuable insights into the performance of a new EIS, it is important to remember that the ultimate criterion for comparison of EIS is their relative service performance. The user of this standard should recommend periodic review and reporting by the testing organizations of the service performance of EIS, which have been adopted as a result of comparative functional testing. Such a review will help to determine if the test procedure is working as intended and will provide guidance for appropriate changes.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

6.3 Considérations pratiques

6.3.1 Choix de l'objet d'essai

Le choix de l'objet d'essai peut influencer les résultats de l'essai et influencera aussi le coût de l'évaluation fonctionnelle. L'organigramme de la Figure 8 montre les critères pour le choix.

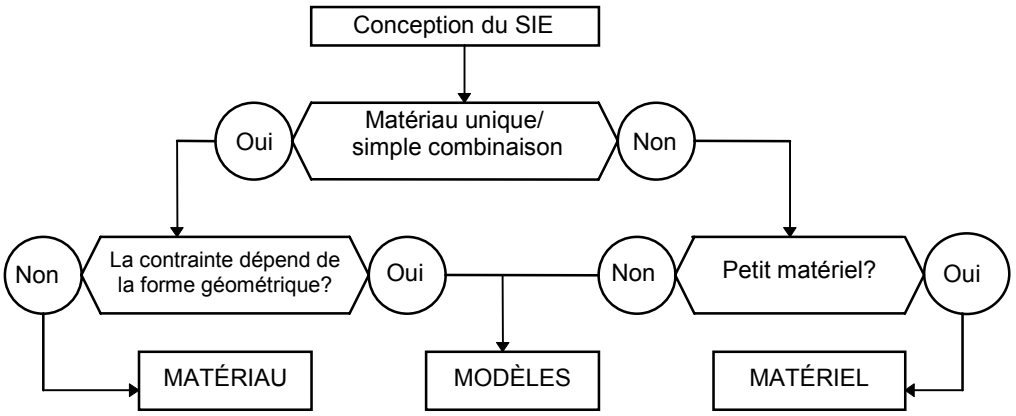


Figure 8 – Choix de l'objet d'essai

Suivant la taille de l'objet et d'autres considérations pratiques, on utilisera un essai fonctionnel sur du matériel, sur des composants ou sur des modèles. Si un «simple» SIE contient un matériau IE unique ou une simple combinaison de matériaux, et si la distribution de contraintes est indépendante de la forme ou de la taille de la partie isolante, la durée de vie du SIE peut être déduite au moyen d'essais d'endurance appropriés sur MIE. Il convient que l'utilisateur de la présente norme statue sur les cas où de telles procédures simplifiées sont appropriées.

La liste de contrôle A.2, rassemble les caractéristiques du SIE.

6.3.2 Procédures expérimentales d'essai

Dans les essais fonctionnels, avec ou sans SIE de référence, les objets d'essai sont soumis à des programmes spécifiés de contraintes de vieillissement, habituellement en cycles de contraintes, destinés à représenter le vieillissement en service. Des procédures de diagnostic sont appliquées périodiquement pour établir la progression du vieillissement. La complexité de l'essai détermine l'effort et le coût nécessaires pour l'essai. L'organigramme de la Figure 9 conduit à trois types différents d'essai, avec des efforts croissants de la gauche vers la droite. Les critères sont le nombre de facteurs de vieillissement, l'objet d'essai et les interactions possibles entre facteurs d'influence.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

6.3 Practical considerations

6.3.1 Choice of the test object

The choice of the test object can influence the test results and will also influence the cost of functional evaluation. The flow chart of Figure 8 demonstrates the criteria for the choice.

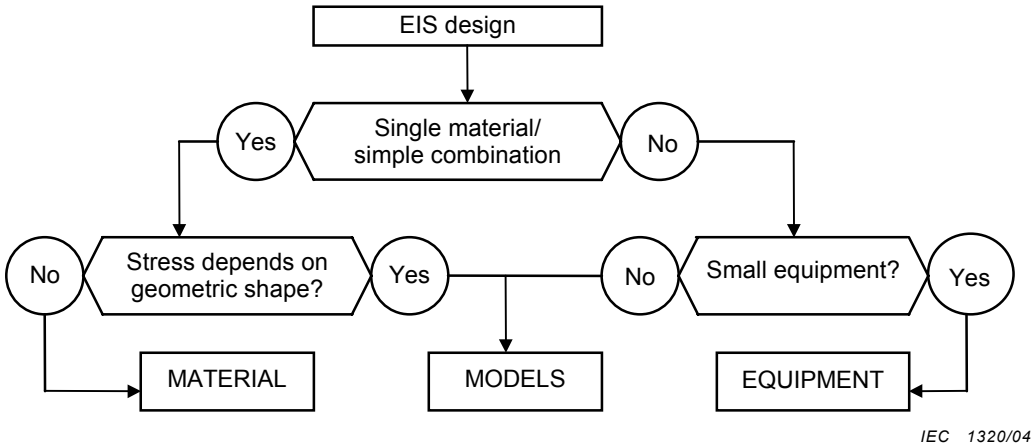


Figure 8 – Selection of test object

Depending on the size of the object and other practical considerations, a functional test on equipment, components or models can be used. If a “simple” EIS contains a single EIM or a simple combination of materials, that has been thermally evaluated as a single EIM, and the stress distribution is independent of the insulating part’s shape or size, the EIS life may be derived by means of appropriate EIM endurance tests. The user of this standard should decide when such simplified procedures are appropriate.

Checklist A.2 collects technical characteristics of EIS.

6.3.2 Experimental test procedures

In functional testing, with or without a reference EIS, the test objects are submitted to specified ageing stress schedules, usually in stress cycles, to simulate service ageing. Diagnostic procedures are periodically applied to establish its progress. The complexity of the test influences the required test effort and cost. The flow diagram of Figure 9 points to three different types of tests, with increasing effort from left to right. The criteria are the number of ageing factors, the test object and possible interactions between factors of influence.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

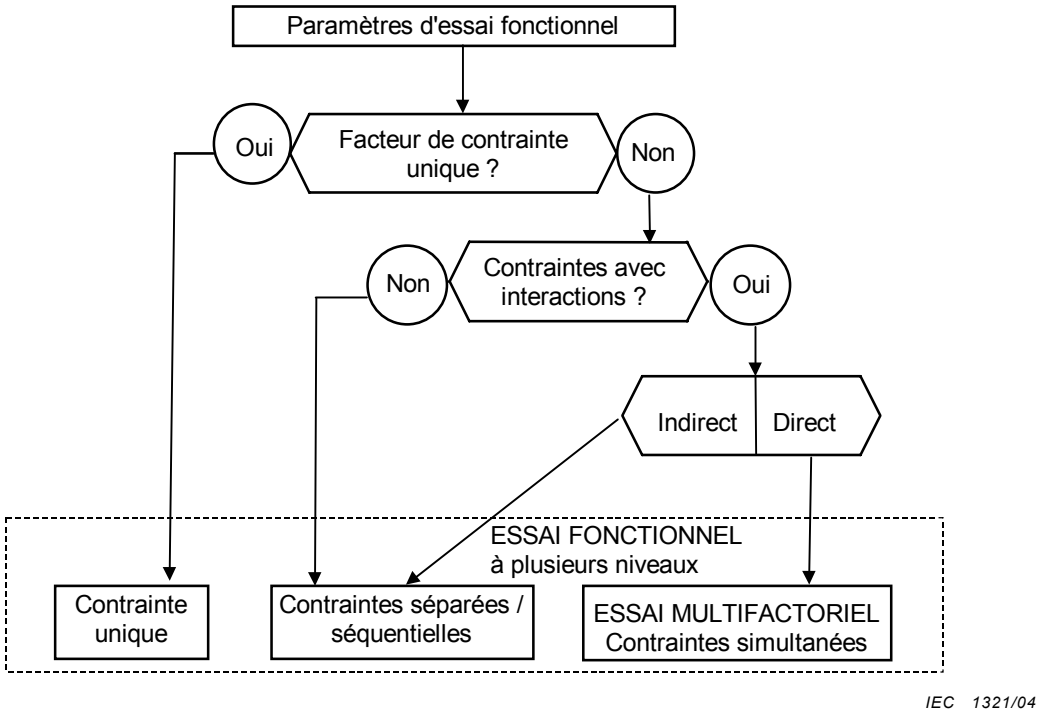


Figure 9 – Etablissement de la méthode d'essai

La liste de contrôle A.1, est utilisée pour collecter les données appropriées sur les conditions de service réelles ou requises du SIE en question. Ces données seront prises en compte pour une simulation optimale des conditions de service durant les essais fonctionnels. Ce formulaire rend commode la comparaison des prescriptions de service par rapport à l'expérience.

6.3.3 Conclusions pour l'exercice de la normalisation

Les Figures 7, 8 et 9 aideront l'utilisateur de la présente norme à décider des cas à prendre en compte avant de commencer le développement de normes pour l'évaluation d'un SIE.

Les cas possibles sont les suivants:

a) des données d'expérience en service sont disponibles pour une évaluation directe; ce cas requiert la formulation de règles spéciales sur l'information nécessaire et la manière de l'analyser;

b) un essai simplifié de durée de vie un MIE (peut être utilisé lorsque des procédures existantes d'essai de matériau sont disponibles pour le SIE candidat);

c) des essais fonctionnels comparatifs utilisant un modèle ou une partie du matériel comme objet d'essai requièrent l'analyse des mécanismes de vieillissement dans des conditions de service simulées afin de décider du type approprié de l'essai.

En principe, les essais fonctionnels comparatifs sont possibles sans connaissance détaillée des mécanismes de vieillissement. L'essentiel pour les essais fonctionnels est de connaître les contraintes agissant en service, de les simuler correctement et de maintenir l'équivalence des effets de vieillissement.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

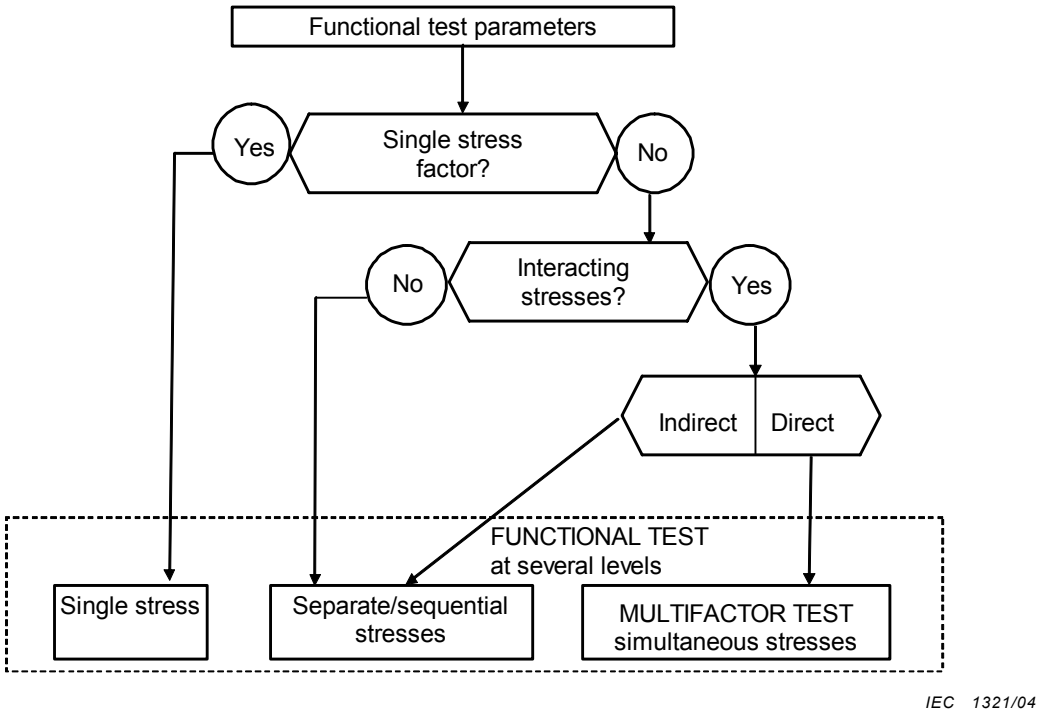


Figure 9 – Establishing the test method

Checklist A.1 is used for collection of relevant data about actual or required service conditions of the EIS in question. These data will be considered for optimal simulation of service conditions during functional tests. This form makes it convenient to compare service requirements versus experience.

6.3.3 Conclusions for standardization practices

Figures 7, 8 and 9, will help the user of this standard to decide about the cases to be considered before starting development of standards for EIS evaluation.

Possible cases include the following:

a) service experience data are available for direct evaluation; this case requires the formulation of special rules about the necessary information and how to analyse it;

b) a simplified life test on an EIM (may be used when existing material test procedures are available for the candidate EIS);

c) comparative functional testing using a model or part of the equipment as the test object; requires analysis of the ageing mechanisms under simulated service conditions in order to decide on the appropriate type of test.

In principle, comparative functional testing is possible without detailed knowledge of the ageing mechanisms. The essentials of functional testing are knowledge of the acting service stresses, their correct simulation and maintenance of the equivalence of the ageing effects.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

7 Essais fonctionnels de vieillissement

7.1 Objets d'essai

7.1.1 Construction des objets d'essai

Les objets d'essai doivent être des unités complètes incorporant le SIE ou être construits pour représenter convenablement la configuration du composant fini à évaluer. Tous les objets doivent être soumis, dans la mesure du possible, aux processus de fabrication complets normaux ou attendus. Lorsque les composants qui utilisent le SIE candidat ont, en service, des fixations mécaniques qui sont censées influencer les processus de vieillissement, celles-ci doivent être simulées sur l'objet d'essai.

Les objets d'essai qui comprennent plusieurs parties composantes conductrices internes, avec une contrainte électrique appliquée entre elles, soit pendant le vieillissement soit pendant le sous-cycle de diagnostic, doivent être conçus et construits pour permettre la vérification de l'effet de vieillissement.

7.1.2 Nombre d'objets d'essai

Lorsque cela est applicable, un minimum de cinq objets d'essai doivent être vieillis pour chacune des combinaisons de contraintes électriques, thermiques, mécaniques, environnementales ou multifactorielles comprises dans le programme d'évaluation.

NOTE Cinq échantillons au minimum sont nécessaires pour atteindre le critère de point limite. Pour obtenir des résultats statistiquement valides, il peut être nécessaire d'inclure plus que cinq échantillons dans chaque sous-essai.

7.1.3 Essais d'assurance de la qualité

Avant de commencer le premier sous-cycle de vieillissement, une inspection visuelle et tous les essais normaux d'assurance de qualité de produit doivent être effectués sur tous les objets d'essai.

7.1.4 Sous-cycle de pré-conditionnement

Si cela est approprié, il convient que les objets d'essai soient préconditionnés pour mieux représenter la condition du SIE en service.

7.1.5 Essais initiaux de diagnostic

Chaque objet d'essai doit être soumis aux essais de diagnostic choisis pour la procédure d'évaluation avant de commencer le premier sous-cycle de vieillissement.

7.1.6 SIE de référence

Un SIE de référence doit être essayé en utilisant la même procédure d'essai que celle pour le SIE candidat, dans le même laboratoire, avec le même type de matériel d'essai. La performance du SIE de référence doit avoir été établie soit par expérience en service dans des conditions typiques de fonctionnement soit par des essais fonctionnels appropriés dans la gamme des conditions de fonctionnement de référence.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

7 Functional ageing tests

7.1 Test objects

7.1.1 Construction of test objects

Test objects shall be either complete units that incorporate the EIS or shall be constructed to adequately represent the configuration of the finished component to be evaluated. All objects shall be subjected to the full normal or intended manufacturing processes as far as is practicable. Where components that will use the candidate EIS have mechanical attachments in service that are considered to influence the ageing processes, these shall be simulated on the test object

Test objects that include several internal conducting component parts that will have electric stress applied between them, either during the ageing or the diagnostic subcycle, shall be designed and constructed to enable verification of the ageing effect.

7.1.2 Number of test objects

Where feasible, a minimum of five test objects shall be aged for each of the electrical, thermal, mechanical, environmental or multifactor stress combinations included in the evaluation programme.

NOTE As a minimum number of five samples is required to reach the end-point criterion. To obtain statistically significant results it may be necessary to include more than five samples in each sub-test.

7.1.3 Quality assurance tests

Before starting the first ageing subcycle, a visual inspection and all normal product quality assurance tests shall be carried out on all test objects.

7.1.4 Preconditioning subcycle

If appropriate, test objects should be preconditioned to better represent the condition of the EIS in service.

7.1.5 Initial diagnostic tests

Each test object shall be subjected to the diagnostic tests selected for the evaluation procedure before starting the first ageing subcycle.

7.1.6 Reference EIS

A reference EIS shall be tested using the same test procedure as that used for the candidate EIS, in the same laboratory, using the same type of test equipment. The performance of the reference EIS shall have been established either by service experience under typical operating conditions or by appropriate functional testing in the range of the reference operating conditions.

--`,,,,``-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

7.2 Conditions d'essai

7.2.1 Essais continus et cycliques

Les essais fonctionnels peuvent être effectués sous forme d'essai continu de vieillissement si le critère de point limite est donné par un temps jusqu'à défaillance ou claquage électrique ou mécanique, soit à un niveau de contrainte de vieillissement soit causé par une contrainte de diagnostic appliquée de façon continue. Sinon, un essai à temps fixe suivi par un essai de claquage ou tout autre essai de diagnostic peut être approprié.

Plus universellement applicables sont les essais cycliques de durée de vie composés d'une séquence répétée de différents sous-cycles de vieillissement et de diagnostic. Cette séquence d'essais fonctionnels permet l'application d'essais de vieillissement unifactoriels ou multi-factoriels avec un minimum d'interférences involontaires entre différents facteurs et mécanismes de vieillissement.

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 pris en compte. La "respiration" causée par les variations périodiques de température peut causer un mouvement unidirectionnel de contamination particulaire de l'extérieur vers l'intérieur du matériel qui n'est pas hermétiquement fermé.

Lorsque ces effets sont simulés dans les 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.

7.2.2 Niveaux de contraintes d'essai, facteurs de vieillissement et facteurs de diagnostic

Les conditions de contrainte d'essai doivent prendre en compte les conditions les plus sévères de contrainte globale expérimentées en service pour lesquelles le SIE est conçu. Ces conditions ne se produisent pas nécessairement aux valeurs maximales des contraintes individuelles. Les conditions de fonctionnement de référence doivent être clairement définies pour la procédure d'évaluation et les niveaux et types de facteurs de diagnostic doivent être appropriés à ces conditions de fonctionnement de référence.

Les niveaux de contrainte pour les sous-cycles de vieillissement doivent être choisis de telle façon que les mécanismes de vieillissement ne soient pas significativement différents de ceux expérimentés en service normal. L'augmentation du niveau de contrainte peut être permise lorsqu'elle ne change pas significativement le mécanisme de vieillissement.

Les essais de vieillissement multifactoriels sont préférables parce qu'ils simulent au mieux le service normal. Lorsque cette procédure n'est pas adoptée, il convient d'utiliser soit un sous-cycle séquentiel soit un programme de sous-cycles à contrainte unique.

A la suite des sous-cycles de vieillissement, un sous-cycle de conditionnement et un sous-cycle de diagnostic doivent être effectués, si nécessaire. La défaillance de toute partie de l'éprouvette pendant un essai de diagnostic constitue une défaillance du système entier et doit être noté comme tel. La contrainte électrique doit être utilisée comme principal facteur de diagnostic pour évaluer la condition des objets d'essai vieillis. Sur le matériel à basse tension il est souvent nécessaire d'inclure une procédure de pré-diagnostic (voir Article 9) pour s'assurer que la contrainte électrique, utilisée comme facteur de diagnostic, sert à détecter une faiblesse développée pendant le cycle de vieillissement.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

7.2 Test conditions

7.2.1 Continuous and cyclic testing

Functional tests may be performed as a continuous ageing test if the end-point criterion is given as time to electrical or mechanical failure or breakdown, either at ageing stress level or caused by a continuously applied diagnostic stress. Alternatively, a fixed time test followed by either a breakdown or other diagnostic test can be appropriate.

More universally applicable are cyclic life tests composed of a repeated sequence of different ageing and diagnostic subcycles. This sequence of functional tests permits the application of either single or multifactor ageing tests with a minimum of unintended interference between different ageing factors and mechanisms.

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.

7.2.2 Levels of test stresses, ageing factors and diagnostic factors

Test stress conditions shall consider the most severe overall stress conditions experienced in service for which the EIS is designed. These conditions need not occur necessarily at the maximum values of the individual stresses. The reference operating conditions shall be clearly defined for the evaluation procedure and the levels and types of diagnostic factors shall be pertinent to these reference operating conditions.

Stress levels for the ageing subcycles shall be selected so that the mechanisms of ageing are not significantly different from those experienced in normal service. Increasing the stress level may be permissible when it does not significantly change the ageing mechanism.

Multifactor ageing tests are preferred as they best simulate normal service. When this procedure is not adopted, then either a sequential subcycle or a programme of single stress subcycles should be used.

Following each ageing subcycle, a conditioning subcycle and a diagnostic subcycle shall be performed where necessary. Failure of any part of the test specimen during a diagnostic test constitutes failure of the whole system and shall be reported as such. Electric stress shall be used as the main diagnostic factor in assessing the condition of the aged test objects. On low-voltage equipment it is often necessary to include a pre-diagnostic procedure (see Clause 9) to ensure that the electric stress, used as the diagnostic factor, helps to detect weaknesses developed during the ageing cycle.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

7.3 Détermination de la durée de vie en service du SIE

La durée de vie en service du SIE déterminée à partir d'essais fonctionnels simulant les conditions de service représente la durée de vie estimée en service. Pour accélérer le processus de vieillissement, dans le but de réduire la durée d'essai, les contraintes d'essai peuvent être appliquées à des niveaux élevés ou à des fréquences accrues.

7.3.1 Extrapolation de la durée de vie en essai

Des résultats obtenus d'essais formulés convenablement et effectués à un minimum de trois niveaux élevés de contrainte peuvent permettre une extrapolation de la fonction durée de vie/contrainte dans la gamme des contraintes envisagées en service. Pour une extrapolation optimale, il convient que les coordonnées du diagramme de la fonction durée de vie/ contrainte soient choisies, si possible, de façon à former un diagramme linéaire durée de vie/contrainte. Il convient que le degré d'extrapolation ne dépasse pas deux ordres de grandeur sur l'échelle du temps de la courbe logarithmique temps.

Pour le vieillissement électrique et le vieillissement thermique, des lois de durée de vie formulées mathématiquement sont présentées en 4.3.1 et 4.3.2, respectivement.

7.3.2 Comparaison des données de durée de vie

Les essais de comparaison d'un SIE candidat et d'un SIE de référence requièrent pour leur validité que les deux systèmes soient essayés conformément à 7.3.1. En comparant ces résultats, le SIE candidat peut être considéré comme variante acceptable si la durée de vie obtenue, à des niveaux de contrainte spécifiques, n'est pas inférieure, de façon significative, à celle obtenue pour le SIE de référence.

NOTE La signification du résultat d'essai peut être évaluée au moyen d'essais statistiques appropriés (voir par exemple CEI 60216 et CEI 60727).

Cela justifiera alors la déclaration: «La durée de vie en service du SIE candidat est censée être égale ou supérieure à la durée de vie vérifiée en service du SIE de référence dans les conditions spécifiées».

8 Vieillissement accéléré

8.1 Niveaux de contrainte

Le sous-cycle de vieillissement doit simuler les contraintes qui seront appliquées en service. En évaluant un SIE, l'interaction entre les contraintes peut être significative et affectera alors la durée de vie en service. En définissant le programme des contraintes qui seront appliquées dans des conditions accélérées, ces interactions peuvent invalider le cours de l'évaluation. Avant de décider d'un programme de vieillissement, il peut être nécessaire d'effectuer des essais accélérés de criblage à contrainte unique et combinée pour statuer sur l'importance de ces interactions. Si des interactions directes importantes sont confirmées, ou si leur existence est connue à partir d'autres programmes d'évaluation appropriés, les contraintes des sous-cycles de vieillissement devraient si possible être appliquées simultanément.

8.2 Durée et nombre de sous-cycles

Lorsque l'on utilise des essais cycliques, il convient qu'il y ait des rapports rationnels entre la longueur du cycle, l'exposition à la contrainte et les contraintes attendues de fonctionnement. Il est recommandé que la longueur du cycle de vieillissement à chaque exposition à la contrainte soit choisie de manière à ce que l'objet en essai ne connaisse pas de défaillance dans les limites de dix cycles de vieillissement. Les valeurs des contraintes de vieillissement doivent être établies par l'utilisateur de la présente norme pour son matériel spécifique. Il convient que la durée et/ou la grandeur de la contrainte prennent en compte la meilleure utilisation des moyens d'essai disponibles.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

7.3 Determination of EIS service life

The life of an EIS determined from functional tests simulating service conditions represents estimated EIS service life. To accelerate the ageing process in order to reduce test time, test stresses can be applied at elevated levels or increased frequencies.

7.3.1 Extrapolation of life test results

Results from properly formulated testing performed at a minimum of three elevated stress levels may allow extrapolation of the stress-life-function into the range of the intended service stresses. For optimal extrapolation the co-ordinates of the graphical diagram of the stress-life-function should be selected, whenever possible, such that a linear stress-life-diagram is achieved. The degree of extrapolation should not exceed two orders of magnitude on the time scale of the log time plot.

For electrical and thermal ageing, mathematically formulated laws of life are presented in 4.3.1 and 4.3.2 respectively.

7.3.2 Comparison of life test data

Valid comparison testing of candidate and reference EIS requires that both systems be tested according to 7.3.1. When comparing these results, the candidate EIS may be considered an acceptable alternative if the life obtained, at specific stress levels, is not significantly lower than that obtained for the reference EIS.

NOTE The significance of the test result can be assessed by means of adequate statistical tests (see e.g. IEC 60216 and IEC 60727-1).

This will then justify the declaration: “Candidate EIS-service life is expected to be either equal to or greater than the experienced service life of the reference EIS for the specified conditions”.

8 Accelerated ageing

8.1 Stress levels

The ageing subcycle shall simulate the stresses that will be applied in service. When evaluating an EIS, the interaction between stresses can be significant and will then affect the service life. When defining the schedule of stresses that will be applied under accelerated test conditions, these interactions can invalidate the evaluation progress. Before deciding on an ageing programme, accelerated single and combined stress screening tests may need to be carried out to decide upon the significance of these interactions. If significant direct interactions are confirmed, or known to exist from other relevant evaluation programmes, then the ageing subcycle stresses should, where possible, be simultaneously applied.

8.2 Duration and number of subcycles

When cyclic testing is used, there should be a rational relationship between the length of the cycle, stress exposure and expected operating stresses. It is recommended that the length of the ageing cycle at each stress exposure should be such that the test object will not fail within ten ageing cycles. Values of ageing stresses shall be established by the user of this standard for his specific equipment. The time and/or magnitude of the stress should be fixed in consideration of the best use of available test facilities.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

8.3 Sous-cycle de vieillissement

8.3.1 A contrainte unique

Dans ces sous-cycles, les objets d'essai sont exposés à un seul facteur à la fois. Les facteurs de vieillissement dans ces sous-cycles sont les facteurs des conditions de fonctionnement de référence qui agissent seuls ou de manière séquentielle en service (voir 8.3.2.1) et sans aucun autre facteur de vieillissement agissant simultanément et produisant une interaction directe. Si des facteurs simultanés sont connus pour ne produire qu'une action indirecte, chacun d'eux peut aussi être appliqué dans un sous-cycle de vieillissement unifactoriel.

8.3.2 A contrainte multifactoriel

Lorsque les interactions entre les contraintes sont directes, il convient, si possible, d'appliquer ces facteurs de vieillissement simultanément. Dans ces sous-cycles, il convient d'appliquer simultanément aux objets d'essai deux ou plusieurs facteurs de vieillissement.

8.3.2.1 A contrainte séquentiel

Lorsque les interactions entre les contraintes sont indirectes, ces contraintes peuvent être appliquées séquentiellement plutôt que simultanément. Si possible, les niveaux de chaque facteur de vieillissement peuvent alors être choisis pour donner la même accélération et doivent être appliqués pendant la même durée.

8.3.2.2 A contrainte séquentiel complexe

Lorsque sur un matériel ou un appareil, en plus du vieillissement causé par l'application uniforme d'une ou de plusieurs contraintes, les conditions de service comprennent de courtes périodes de contraintes accrues ou des niveaux de contrainte qui varient avec le temps, il convient de choisir des sous-cycles de vieillissement complexes. Il convient que la conception de ces cycles comprenne la proportion correcte de ces contraintes additionnelles, électriques (par exemple impulsions), thermiques (par exemple cycle froid) ou mécaniques (par exemple force d'impact de court-circuit).

9 Conditionnement de pré-diagnostic

A la fin de chaque sous-cycle de vieillissement, on peut utiliser une séquence de traitements de conditionnement de courte durée, pour augmenter la capacité de discernement des essais de diagnostic suivants. Ces procédures sont particulièrement appropriées pour le matériel basse tension. Voici des exemples typiques de traitement de pré-diagnostic:

a) vibrations mécaniques pour révéler une friabilité de l'isolation dans le système;

b) humidification pour amplifier la capacité de discrimination des essais d'épreuve à haute tension ultérieurs;

c) contraintes électriques, thermiques ou mécaniques pour simuler les conditions qui surviennent sporadiquement lorsque le SIE candidat est en fonctionnement en service.

En général, il convient que les niveaux de sévérité, ainsi que la durée et le nombre d'applications, de ces traitements de courte durée soient décidés à partir de l'estimation des conditions définies de fonctionnement pour lesquelles le SIE candidat est conçu.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

8.3 Ageing subcycle

8.3.1 Single stress

In these subcycles the test objects are exposed to only one factor at a time. Ageing factors in these subcycles are those factors from the reference operating conditions which act in service alone or in a sequential manner (see 8.3.2.1) and without any other simultaneously acting ageing factor producing direct interaction. If simultaneous factors are known to produce only indirect interaction, then each of them may also be applied in a single-factor ageing subcycle.

8.3.2 Multifactor stress

Where the interactions between stresses are direct, these ageing factors should, where possible, be applied simultaneously. In these subcycles, two or more ageing factors should be applied simultaneously to the test objects.

8.3.2.1 Sequential stress

Where the interactions between stresses are indirect, these stresses may be applied sequentially rather than applied simultaneously. When feasible, the stress levels of each ageing factor may then be chosen to give the same acceleration and shall be applied for the same duration.

8.3.2.2 Complex sequential stress

On apparatus or equipment where, in addition to ageing caused by uniform application of one or more stresses, service conditions include short periods of enhanced stresses or levels of stress that vary with time, complex ageing subcycles should be adopted. The design of these cycles should include the correct proportion of these additional stresses, for example, electrical (e.g. impulses), thermal (e.g. cold cycling) or mechanical (e.g. short-circuit impact force.)

9 Prediagnostic conditioning

On completion of each ageing subcycle, a sequence of short-duration conditioning treatments may be used to enhance the discerning capability of the subsequent diagnostic tests. These procedures are particularly relevant for low-voltage equipment. Examples of typical prediagnostic treatments include:

a) mechanical vibration to reveal embrittlement of the insulation in the system;

b) humidification to amplify the fault-finding capability of subsequent high-voltage proof testing;

c) electrical, thermal or mechanical stressing to simulate sporadic conditions that will occur at infrequent intervals when the candidate EIS is operated in service.

In general, the levels of severity and the duration or number of applications of these short-time treatments should be decided from an assessment of the defined operating conditions for which the candidate system is designed.

--`,,,,`-`-`,,`,,`,`,,`---
Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

10 Diagnostic

10.1 Essais de diagnostic – Critères de point limite

L'utilisateur de la présente norme responsable de l'évaluation d'un SIE pour un type spécifique de matériel, doit définir les critères de point limite en termes absolus ou en termes relatifs (par exemple en cas d'évaluation thermique, voir la CEI 60727-1 et la CEI 60216-5).

L'exigence fondamentale pour la procédure de diagnostic est qu'elle doit inclure la spécification d'un point limite. La procédure d'essai d'endurance peut être cyclique ou continue, selon les essais de diagnostic requis et la complexité du vieillissement, comme indiqué au Tableau 2.

Tableau 2 – Procédures cycliques et continues

Numéro de cas	1	2	3	4	5	6
Procédure	Cyclique				Continue	
Vieillissement à un seul facteur	Oui	Non	Non	Non	Oui	Non
Vieillissement à plusieurs facteurs simultanés	Non	Oui	Non	Non	Non	Oui
Vieillissement à plusieurs facteurs séquentiels	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non
Essais de diagnostic	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non

Les procédures cycliques, cas 1 à 4 dans le Tableau 2, sont appropriées lorsqu'il est vraisemblable que des contraintes autres que celles de vieillissement causent une défaillance ou lorsque les contraintes de vieillissement sont appliquées de manière séquentielle. Elles se composent généralement de plusieurs cycles d'essai, chaque cycle étant composé de sous-cycles.

– Les sous-cycles de vieillissement, conduits à des niveaux de contrainte élevés, servent à vieillir l'isolation de manière accélérée. Le degré d'accélération est choisi en relation avec le niveau de contrainte en service du facteur de vieillissement.

NOTE Dans les cas où des niveaux exceptionnels de contrainte de vieillissement se produisent plus ou moins régulièrement en service (par exemple périodes de surcharge, augmentant sensiblement la température), le sous-cycle de vieillissement peut être divisé également en périodes de niveaux de contrainte plus ou moins élevés.

– Après chaque sous-cycle de vieillissement, les éprouvettes sont soumises à un sous-cycle d'essai de diagnostic (sauf dans le cas du numéro 4 du Tableau 2), qui peut comprendre des essais de tension, des essais de décharges partielles, des essais de contrainte mécanique, une exposition à l'humidité ou à des agents chimiques et d'autres essais de diagnostic. Certaines contraintes de vieillissement peuvent ne pas causer directement une défaillance, alors que d'autres (par exemple la tension) le peuvent, quand ils agissent simultanément comme facteurs de vieillissement et de diagnostic.

Il convient que l'importance et la sévérité des essais de diagnostic soient en corrélation avec les contraintes potentiellement destructives réelles ou attendues. Dans ce but, des lignes directives sont données en 4.3.2 pour permettre à l'utilisateur de la présente norme de choisir la procédure d'essai appropriée. Si cela est réalisable, le comité d'études de matériel peut choisir les procédures d'essai pertinentes à utiliser dans son domaine.

Les procédures continues, les cas des numéros 5 et 6 au Tableau 2, sont appropriés lorsqu'il est vraisemblable que le facteur de vieillissement, ou plusieurs facteurs de vieillissement en combinaison, sont simultanément le plus important facteur de défaillance. Le point limite peut être la détection d'une faiblesse physique qui s'est développée au cours de la période. Il peut aussi s'agir d'un événement ou d'une condition, comme une telle défaillance au cours d'un traitement de diagnostic ou l'obtention d'une valeur limite d'une propriété spécifique. Le point limite peut être caractérisé par une condition unique (par exemple niveau X d'une propriété A), ou par l'une de plusieurs possibilités (par exemple, niveau X de A ou niveau Y de B, etc.), ou il peut être donné par une combinaison de conditions (par exemple, niveau X de A et niveau Y de B, etc.).

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

10 Diagnostics

10.1 Diagnostic tests – End point criteria

The user of this standard, responsible for evaluation of an EIS for a specific type of equipment, shall define the end-point criteria in either absolute or relative terms (e.g. for thermal evaluation, see IEC 60727-1 and IEC 60216-5).

The fundamental requirement for the diagnostic test procedure is that it shall include the specification of an end-point. The endurance test procedure may be cyclical or continuous, depending on the required diagnostic tests and ageing complexity, as depicted in Table 2.

Table 2 – Cyclical and continuous procedures

Case number	1	2	3	4	5	6
Procedure	Cyclical				Continuous	
Single factor ageing	Yes	No	No	No	Yes	No
Multi-factor simultaneous ageing	No	Yes	No	No	No	Yes
Multi-factor sequential ageing	No	No	Yes	Yes	No	No
Diagnostic tests	Yes	Yes	Yes	No	No	No

Cyclical procedures, cases 1 to 4 in Table 2, are suitable when other than ageing stresses are expected to cause failure, or when the ageing stresses are being applied sequentially. They usually consist of several test cycles, each cycle being composed of subcycles.

– The ageing subcycles, conducted at elevated stress levels, serve to age the insulation on an accelerated basis. The degree of acceleration is selected in relation to the service stress level of the ageing factor.

NOTE In such cases when exceptional ageing stress levels occur in service more or less regularly (for example overload periods, raising the temperature appreciably), the ageing subcycle may be divided correspondingly into periods of lower and higher stress levels.

– After each ageing subcycle, the test specimens are subjected to a diagnostic test subcycle (except for case number 4 of Table 2), which may include voltage tests, partial discharge tests, mechanical stress tests, exposure to humidity or chemicals, and other diagnostic tests. Some ageing stresses may not directly cause failure, whereas some (for example voltage) can, when acting simultaneously as ageing and diagnostic factors.

The extent and severity of the diagnostic tests should correlate with actual or expected potentially destructive stresses. For this purpose, guidelines are given in 4.3.2 that enable the user of this standard to select the appropriate test procedure. When feasible, the equipment technical committee may select the relevant test procedures to be used in its domain.

Continuous procedures, case numbers 5 and 6 in Table 2, are suitable when the ageing factor, or several ageing factors in combination, are expected simultaneously to be the most important failure-causing factor. The end-point may be the detection of a physical weakness that has developed during the period. It may also be an event or condition; such as failure during a diagnostic treatment or attainment of a limiting value of a specific property. The end-point may be characterized either by a single condition (e.g. level X of property A), or by one of several alternatives (e.g. level X of A or level Y of B, etc.) or it may be given as a combined condition (e.g. level X of A and level Y of B, etc.).

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Des critères typiques sont indiqués ci-après:

a) essais d'épreuve à haute tension à N fois la tension normale en service (où N est égal à 1,5; 2; 3 ou 4);

b) essai d'épreuve à impulsion ou choc à M fois le niveau maximal normal en service (où M est égal à 1; 1,5; 2 ou 3);

c) augmentation en pourcentage de la tangente différentielle de pertes, du niveau de décharges partielles, etc., au-dessus de la valeur avant vieillissement à une tension définie ou dans une gamme de tensions définie;

d) valeur du courant de fuite au-dessus de la valeur avant vieillissement à une tension définie;

e) pourcentage de perte d'une propriété choisie.

10.2 Essais spécifiques additionnels

Des essais spécifiques additionnels peuvent être nécessaires pour définir les critères de point limite d'un matériel ou d'un appareil spécifique. Utiliser pour cela toutes les informations disponibles à partir de l'analyse de contrainte, des propriétés de l'isolation et de l'analyse de défaillance ainsi que des conditions types de fonctionnement (voir Annexe C). La décision d'inclure un diagnostic plus complet doit être prise par l'utilisateur de la présente norme.

11 Analyse des données

11.1 Généralités

L'établissement de règles spécifiques pour l'analyse des données d'essai obtenues à partir de programmes d'évaluation à contrainte unique ou multifactorielle doit être de la responsabilité de l'utilisateur de la présente norme. Le niveau de complexité dépendra du type d'appareil pour lequel le SIE a été conçu. Si les paramètres de service pour lesquels le SIE candidat a été conçu indiquent des contraintes supérieures à celles du SIE de référence, les essais fonctionnels du SIE candidat devront atteindre la même durée de vie en essai que le SIE de référence au niveau inférieur.

11.2 Expérience en fonctionnement

Lorsqu'on évalue un SIE en utilisant l'expérience en service, le degré de confiance dans la conception du système sera lié étroitement à la qualité et à la fiabilité des données disponibles.

11.3 Endurance électrique

Lorsqu'on évalue l'endurance électrique, les temps jusqu'à défaillance du SIE candidat et du SIE de référence doivent être portés sur un graphique logarithmique avec la moyenne arithmétique ou le point médian pour chaque contrainte électrique de vieillissement (voir la CEI 60727-1). En général, il convient qu'un graphique d'endurance produise une ligne droite dans la gamme limitée de contraintes électriques normalement adoptées pour obtenir des résultats dans une durée d'essai acceptable, comme cela est défini en 4.3.1.

11.4 Vieillissement thermique

Lorsqu'on évalue le vieillissement thermique, l'analyse de régression linéaire, en coordonnées d'Arrhénius (logarithme du temps en fonction de l'inverse de la température absolue), doit être utilisée en conformité avec la CEI 60216-3. Lorsque l'on compare le système candidat et le système de référence (voir CEI 60216-5), il convient d'extrapoler les lignes de régression jusqu'à la température de conception et les durées de vie moyennes en essai obtenues. Le SIE candidat doit être accepté si le logarithme de sa durée de vie moyenne est égal ou supérieur à celui du SIE de référence. Dans de nombreux cas, la durée de vie en service ou les températures de conception requises du SIE candidat et du SIE de référence sont différentes.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Typical criteria are given below:

a) high-voltage proof tests at N times the normal service voltage (where N is either 1,5; 2; 3 or 4);

b) impulse or surge proof test at M times the normal maximum service level (where M is either 1; 1,5; 2 or 3);

c) percentage increase in incremental loss tangent, partial discharge level, etc., above the value for the system before ageing at a defined voltage, or over a given voltage range

d) leakage current above value before ageing at a defined voltage;

e) percentage loss of a selected property.

10.2 Additional specific tests

Additional diagnostic tests may be necessary to define the end-point criteria of specific equipment or apparatus. When doing this, use all information available from stress analysis, properties of the insulation, and failure analysis, as well as from typical operating conditions (see Annex C). The decision on whether to include a more comprehensive diagnostic shall be decided by the user of this standard.

11 Analysing the data

11.1 General

The specific rules for analysing the test data obtained from either single or multifactor stress evaluation programmes shall be the responsibility of the user of this standard. The level of complexity will be dependent on the type of apparatus for which the EIS has been designed. If design service parameters of the candidate EIS indicate stresses higher than those of the reference EIS, then function tests of the candidate EIS must reach the same EIS test-life as the reference EIS at the lower level.

11.2 Operating experience

Where an EIS is being assessed using service experience, the confidence in the system designation will be closely related to the quality and reliability of the available data.

11.3 Electrical endurance

When electrical endurance is being assessed, the time-to-failure of the candidate and reference EIS shall be plotted on a log-log graph with either the arithmetic mean or median point for each electrical ageing stress (see IEC 60727-1). In general, an endurance graph should produce a straight line for the limited range of electrical stresses normally adopted to obtain results in an acceptable test time, as defined in 4.3.1.

11.4 Thermal ageing

When thermal ageing is being assessed, linear regression analysis in Arrhenius co-ordinates (log life versus reciprocal of the absolute temperature) shall be used in accordance with IEC 60216-3. Where candidate and reference systems are being compared (see IEC 60216-5), the regression lines should be extrapolated to the design temperature and the log mean test lives obtained. The candidate EIS shall be accepted if its log mean test life is equal, or greater than, that of the reference EIS. In many cases, the required service life or the design temperatures of the candidate and reference EIS are different.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

S'il y a une incurvation prononcée dans la courbe tracée, au lieu d'une droite, cela indique qu'il y a un changement significatif dans le mécanisme dominant de vieillissement. Dans ces cas, la classification peut être fondée seulement sur la portion de la courbe qui correspond aux plus basses températures. Pour vérifier que cette décision est acceptable, il peut être nécessaire d'effectuer des essais additionnels à une température plus basse.

11.5 Endurance mécanique

Lorsque l'on évalue l'endurance mécanique, il convient de porter les données logarithmiques de la durée de vie en fonction du logarithme de la contrainte mécanique, et de faire un essai de linéarité, tout comme pour la durée de vie électrique ou mécanique.

11.6 Données d'essais environnementales

Actuellement, il n'y a pas de procédure normalisée pour l'analyse de données d'essais environnementales. La bibliographie fournit des informations complémentaires.

11.7 Données d'essais multifactorielles

Actuellement, il n'y a pas de procédure normalisée pour l'analyse de données d'essais multifactorielles. La bibliographie fournit des informations complémentaires.

11.8 Nombre d'éprouvettes

Les variations inévitables des éprouvettes de SIE et l'imprécision normale dans l'application des contraintes provoquent une certaine dispersion des résultats de mesure, même lorsque beaucoup d'éprouvettes sont fabriqués de la même façon et essayés dans les mêmes conditions nominales.

Il convient que l'utilisateur de la présente norme tienne compte de ces faits lorsqu'il spécifie le nombre d'éprouvettes et le choix des niveaux d'essai pour établir une courbe d'endurance.

12 Procédures d'évaluation fondées sur des distributions statistiques – Formules mathématiques

Plusieurs formules mathématiques ont été proposées pour représenter cette relation. Comme il est probable que les phénomènes qui conduisent à la rupture diélectrique dépendent de la durée de l'exposition, ces formules mathématiques sont souvent considérées comme l'expression statistique des résultats. Les données de vieillissement mécanique et électrique peuvent être traitées par la distribution de Weibull, alors que les données d'endurance thermique sont traitées par la distribution Normale. L'annexe D montre une application à une méthode accélérée avec accroissement de la tension par paliers. De telles attentions peuvent être apportées aux autres essais.

La validité de telles formules empiriques doit être évaluée au moyen des résultats d'essai obtenus à différentes tensions qui donnent les constantes à utilisées dans les formules. Dans des cas particuliers, il peut être possible de réaliser des essais d'endurance électrique avec des niveaux de contrainte en augmentation pour chaque objet d'essai.

Un certain nombre de méthodes ont été décrites dans des ouvrages techniques. Dans une telle procédure d'essai, il est nécessaire de spécifier, en plus de toutes les autres conditions d'essai déjà mentionnées, une relation mathématique définie entre le niveau de contrainte et le temps qui s'écoule jusqu'à la défaillance ainsi qu'une méthode de réduction de tous les résultats d'essai à une valeur de durée commune ou de niveau de contrainte commun.

Il est particulièrement important de vérifier les mécanismes de vieillissement inchangés dans la présente méthode d'essai de l'endurance électrique. L'Annexe D donne la description d'un exemple d'une telle procédure.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

If there is a pronounced knee in the curve plotted, rather than a straight line, this indicates that there is a significant change in the dominating ageing mechanism. In these circumstances, classification may be based only on the lowest temperature portion of the curve. To check that this decision is acceptable, it may be necessary to carry out additional testing at a lower temperature.

11.5 Mechanical endurance

When mechanical endurance is being assessed, the data should be plotted as log life versus log mechanical stress , and a linearity test should be made, just as for the electrical and the thermal life.

11.6 Environmental test data

There exists no standard procedure for analysis of environmental test data at this time. The bibliography provides further information.

11.7 Multifactor test data

There exists no standard procedure for analysis of multifactor test data at this time. The bibliography provides further information.

11.8 Number of specimens

The inherent variability of EIS specimens and the normal inaccuracy of stress application will result in a dispersion of measurement results, even when a number of specimens are manufactured in the same way and tested under the same nominal conditions.

The user of this standard should take these considerations into account when specifying the number of specimens and the choice of test levels to establish an endurance curve.

12 Evaluation procedures based on statistical distributions – Mathematical formulae

Several mathematical formulae have been proposed for representing this relationship. As it is probable that the phenomena leading to electrical breakdown are dependent on the duration of exposure, mathematical formulae are often considered as a statistical expression of the results. Electrical and mechanical ageing data can be treated by the Weibull distribution, while the thermal endurance data are normally treated by the Normal distribution. Annex D shows an application to an accelerated method of step-by-step increasing voltage. Similar considerations can be made for the other tests.

The validity of such empirical formulae shall be assessed by test results obtained at different voltages, which provide the constants to be used in the formulae. In special cases, it may be possible to perform electrical endurance tests with increasing stress levels for each test object.

A number of such methods have been described in the technical literature. In such a test procedure, it is necessary to specify, in addition to all other test conditions already mentioned, a definite mathematical relationship between stress level and time to failure and a method of reducing all test results to a common time or a common stress level value.

Verification of unchanged ageing mechanisms in this method of electrical endurance testing is particularly important. Annex D describes an example of such a procedure.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

13 Procès-verbal d'essai

Il convient que le procès-verbal d'essai comprenne:

a) l'identification de la norme d'évaluation applicable;

b) la description du SIE incluant la fabrication des éprouvettes;

c) la description de l'expérience en service concernant le système de référence, y compris les interactions (si nécessaire) (par exemple, l'Annexe A);

d) l'identification du modèle, si utilisé;

e) les conditions de fonctionnement de référence;

f) la description de tout pré-conditionnement ou pré-vieillissement utilisé;

g) les contraintes de vieillissement, leurs niveaux et leur accélération dans les essais;

h) la séquence et la durée d'essai, et le nombre d'échantillons;

i) les traitements, les essais et les mesures de diagnostic;

j) les critères de point limite choisis;

k) les courbes de vieillissement (pour confirmer si oui ou non le SIE candidat peut être accepté, on doit suivre la procédure spécifiée dans la CEI 60493-1 pour vérifier la linéarité des données d'essai);

l) les temps pour atteindre les points limites, les valeurs individuelles et médianes et le traitement statistique si possible;

m) conclusion résumée du nouveau système en comparaison avec le SIE de référence;

14 Codification des SIE

Toute procédure de codification des SIE doit être développée en coordination avec le Comité d'études 98 de la CEI de façon à fournir une harmonisation entre les utilisateurs de la présente norme.

NOTE La première édition de la CEI 60505:1975 (actuellement supprimée) contenait une procédure de codification. Cette procédure est supprimée jusqu'à demande des utilisateurs de la présente norme.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

13 Test report

The test report should include:

a) identification of the applicable evaluation standard;

b) description of the EIS including manufacturing of the specimens;

c) description of the service experience concerning the reference, when used, system, including interactions (when necessary) (e.g., Annex A);

d) identification of model, if used;

e) reference operating conditions;

f) description of any preconditioning or pre-ageing used;

g) ageing stresses and their levels and acceleration in the tests;

h) test sequence and duration, and number of samples;

i) diagnostic treatments, tests and measurements;

j) end-point criteria selected;

k) ageing curves (to confirm whether or not the candidate EIS may be accepted, the procedure for checking the linearity of the test data, specified in IEC 60493-1, shall be carried out);

l) times to reach the end-points, individual values and medians and statistical treatment when feasible;

m) summarized conclusion of the new system in comparison to the reference EIS;

14 EIS coding

Any EIS coding procedure shall be developed in co-ordination with IEC TC 98 in order to provide harmony between the users of this standard.

NOTE The first edition of IEC 60505:1975 (now withdrawn) contained a coding procedure. This is currently suppressed until further request by the users of this standard.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Annexe A
(informative)

Listes de contrôle

Les listes de contrôle des Tableaux A.1 et A.2 sont des exemples informatifs. Elles n'ont pas été établies pour l'application à un matériel spécifique. La normalisation de tels questionnaires pour une application à un SIE spécifique doit être du ressort de l'utilisateur de la présente norme.

A.1 Expérience en service, exigences/conditions de service, données de fonction et de performance pour l'évaluation d'un SIE (voir Tableau A.1)

Des listes de ce type peuvent être utilisées pour des unités uniques de matériel et aussi pour des groupes d'unités comparables, comme outils pour l'évaluation des SIE par l'expérience en service.

Le matériel peut contenir plus d'un SIE. Dans ce cas, un dossier de service pour chaque SIE peut être nécessaire.

Les listes de contrôle doivent être adaptées aux informations souhaitées et disponibles pour le type particulier de matériel.

La colonne pour les conditions/exigences de service doit être remplie pour comparer les conditions de service réelles avec les exigences de service originales.

Si le matériel comprend plus d'un SIE fonctionnant indépendamment, il convient de remplir des listes de contrôle séparées.

Des facteurs d'influence peuvent créer directement des contraintes de vieillissement sur le SIE; mais, il convient aussi de noter les facteurs qui, sans un quelconque effet spécifique de vieillissement, intensifient ou réduisent l'effet de vieillissement d'autres facteurs d'influence. Il convient d'indiquer les interactions des facteurs d'influence.

A.2 Configuration d'un SIE (voir Tableau A.2)

Si plus d'un SIE est noté, il faut décider s'ils doivent être traités séparément ou comme un seul SIE complexe. Un seul SIE complexe peut incorporer des parties de plus d'un type de conception. Par exemple, des séparateurs peuvent être des blocs, des bandes ou des parties structurées faits de matériaux organiques, inorganiques ou composites.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Annex A
(informative)

Checklists

Checklists in Tables A.1 and A.2 are informative examples. They have not been formulated for application to specific equipment. Standardization of such questionnaires for application to a specific EIS shall be the task of the user of this standard.

A.1 Service experience, service requirements/conditions, duty and performance data for EIS evaluation (see Table A.1)

Lists of this type may be used either for single units of equipment or for describing service experience of groups of comparable units as a tool for EIS evaluation by service experience.

Equipment can contain more than one EIS. A service record for each EIS may then needed.

Checklists shall be adjusted to the desired and available information for the special type of equipment.

The column for service conditions/requirements shall be filled in for comparing the actual service conditions with original service requirements.

If equipment comprises more than one independently functioning EIS, a separate checklist should be completed.

Factors of influence can directly cause ageing stresses to the EIS; but those factors which, without any specific ageing effect, intensify or reduce the ageing effect of other factors of influence should also be listed. Interactions of factors of influence should be indicated.

A.2 Configuration of EIS (see Table A.2)

If more than one EIS is marked, it has to be decided whether they are to be treated separately or as a single complex EIS. One complex EIS can incorporate parts of more than one design type. For instance, spacers can be blocks, strips or structured parts made from organic, inorganic or composite material.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Tableau A.1 – Liste de contrôle des expériences en service, exigences/conditions de service, données de fonction et de performance pour l'évaluation d'un SIE (à modifier par l'utilisateur, si nécessaire)

Matériel Type ..... Classe de tension/puissance ..... Nombre d'unités ..... SIE: voir Tableau A.2			
		Données d'expérience en service	**Données d'exigences / conditions de service**
Expériences qualitatives	Inspection visuelle Défaillances Contrôle Maintenance, réparations	....	....
Performance (P)	Heures de service, total (depuis la dernière inspection) Nombre de démarrages Heures par démarrage Heures de stand-by	....	....
Fonction (D)	Service continu Service cyclique Courte durée Gamme de charge Réserve Stockage, transport	....	....
Facteurs d'influence			
Thermique (T)	Température max./min. Basse/haute température ambiante Gradient de température Vitesse changement température	....	....
Electrique (E)	Tension nominale (travail) Fréquence surtensions, transitoires Niveau de protection Décharges partielles Cheminement, effluves Contournement	....	....
Mécanique (M)	Vibration électrodynamique Vibration mécanique Impact électrodynamique Impact mécanique Pliage Pression Tension Torsion Parties desserrées	....	....
Environnemental (A)	Gaz Atmosphère corrosive Vide Lubrifiants, produits chimiques Humidité Poussières, sable Produits chimiques Rayonnement Rongeurs, termites, champignons	....	....

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Table A.1 – Checklist for service experience, service requirements/conditions, duty and performance data for EIS evaluation (to be modified by user, as required)

Equipment: Type ..... Voltage/power rating ..... Number of units..... EIS: see Table A.2			
		Experienced service data	**Service conditions/ requirements data**
Qualitative experiences	Visual inspection Failures Monitoring Maintenance, repairs	....	....
Performance (P)	Service hours, total (since last inspection) Number of starts Hours per start Standby hours		 ....
Duty (D)	Continuous service Cyclic service Short-time Load range Standby Storage, transportation	....	....
Factors of influence			
Thermal (T)	Max./min. temperature Low/high ambient temperature Temperature gradient Rate of temperature change	....	....
Electrical (E)	Rated (working) voltage Overvoltage, frequency, transients Protection level Partial discharge Tracking, creeping Flashover	....	....
Mechanical (M)	Vibration, electro-dynamic Vibration, mechanical Impact, electro-dynamic Impact, mechanical Bending Pressure Tension Torsion Loose parts	....	....
Ambient, environmental (A)	Gases Corrosive atmosphere Vacuum Lubricants, chemicals Humidity, moisture Dust, sand Chemicals Radiation Rodents, termites, fungi	....	....

--`,,,,`-`-`,,`,,`,`,,`---
Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Tableau A.2 – Liste de contrôle de la configuration d'un SIE

Matériel Type ..... Classe de tension/puissance ..... (Noter les réponses appropriées)	
SIE incorporé dans l'isolation principale	Isolation principale (haute tension à la terre)
	Isolation entre circuits
	Isolation entre enroulements
	Isolation entre fils
	Espaceur, manchon, espace d'air
	Isolation: extrudée, coulée, moulée
	Distance de cheminement
	Imprégné: fluide/cuisson
	Structure lamifiée, isolation rubanée
	Autre, (à spécifier)
Type des parties conductrices associées	Barre, fil, câble, enroulement
	Contact interrupteur/relais
	Film/feuille métallique, conducteur imprimé
	Interrupteur à semiconducteur
	Peinture ou ruban (semi-) conducteur
	Noyau magnétique: solide ou laminé
	Logement, cuve, boîte, support mécanique
	Ecran électromagnétique

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Table A.2 – Checklist for configuration of EIS

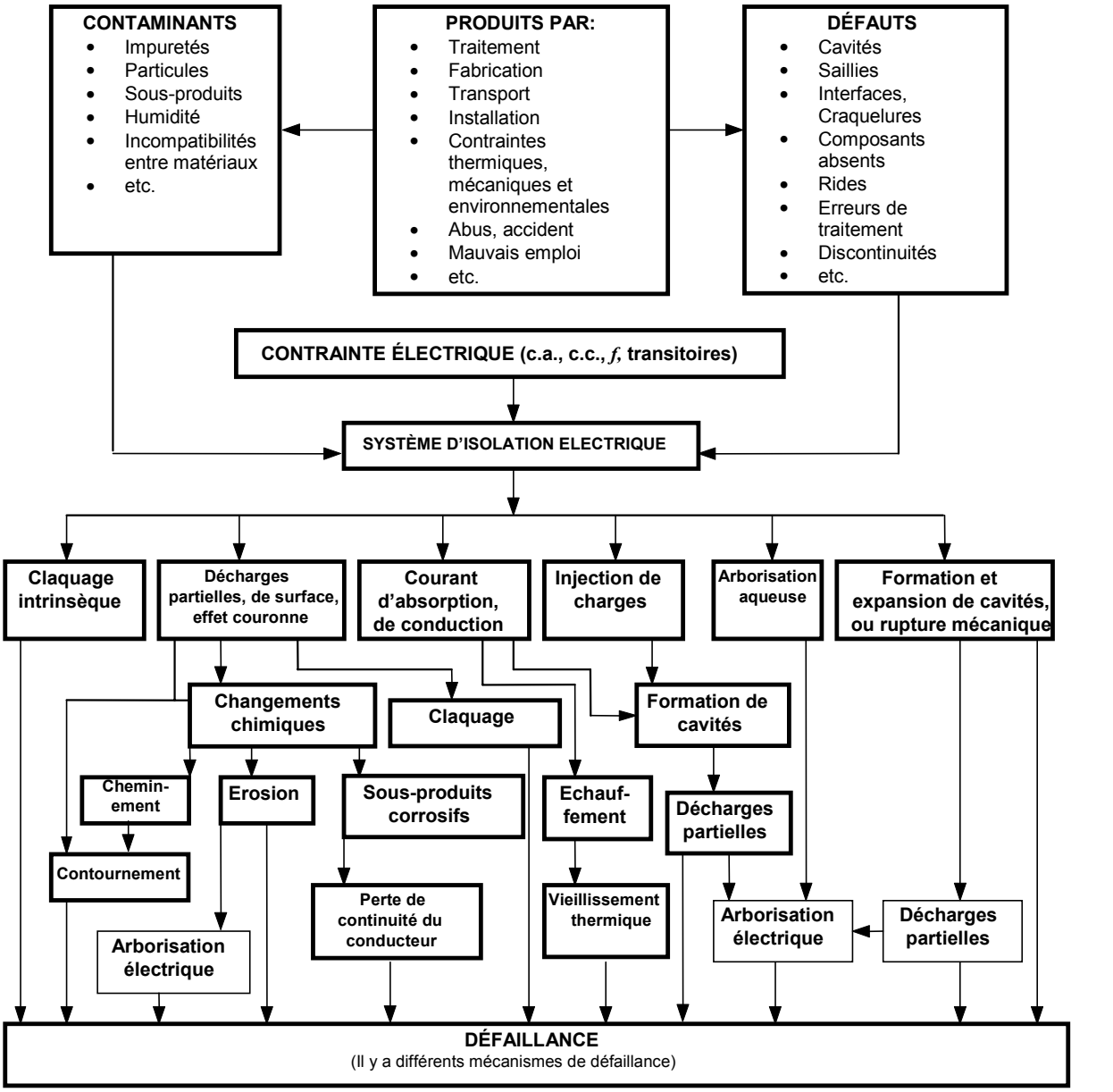
Equipment: Type ..... Voltage/power rating ..... (Mark relevant answers)	
EIS incorporated in main insulation	Main insulation (high-voltage to earth)
	Inter-circuit insulation
	Inter-turn insulation
	Wire insulation
	Spacer, sleeving, air space
	Insulation: extruded, cast, potted
	Creepage distance
	Impregnated: fluid/cured
	Laminated structure, taped insulation
	Other, (specify)
Type of associated conductive parts	Bar, wire, cable, coil
	Switch/relay contact
	Metallic film/foil, printed conductor
	Solid-state switch
	(Semi-) conductive paint or taping
	Magnetic core: solid or laminated
	Housing, tank, box, mechanical support
	Electromagnetic shielding

--`,,,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Annexe B
(informative)

Organigrammes



IEC 1322/04

NOTE D'autres contraintes peuvent contribuer à la défaillance.

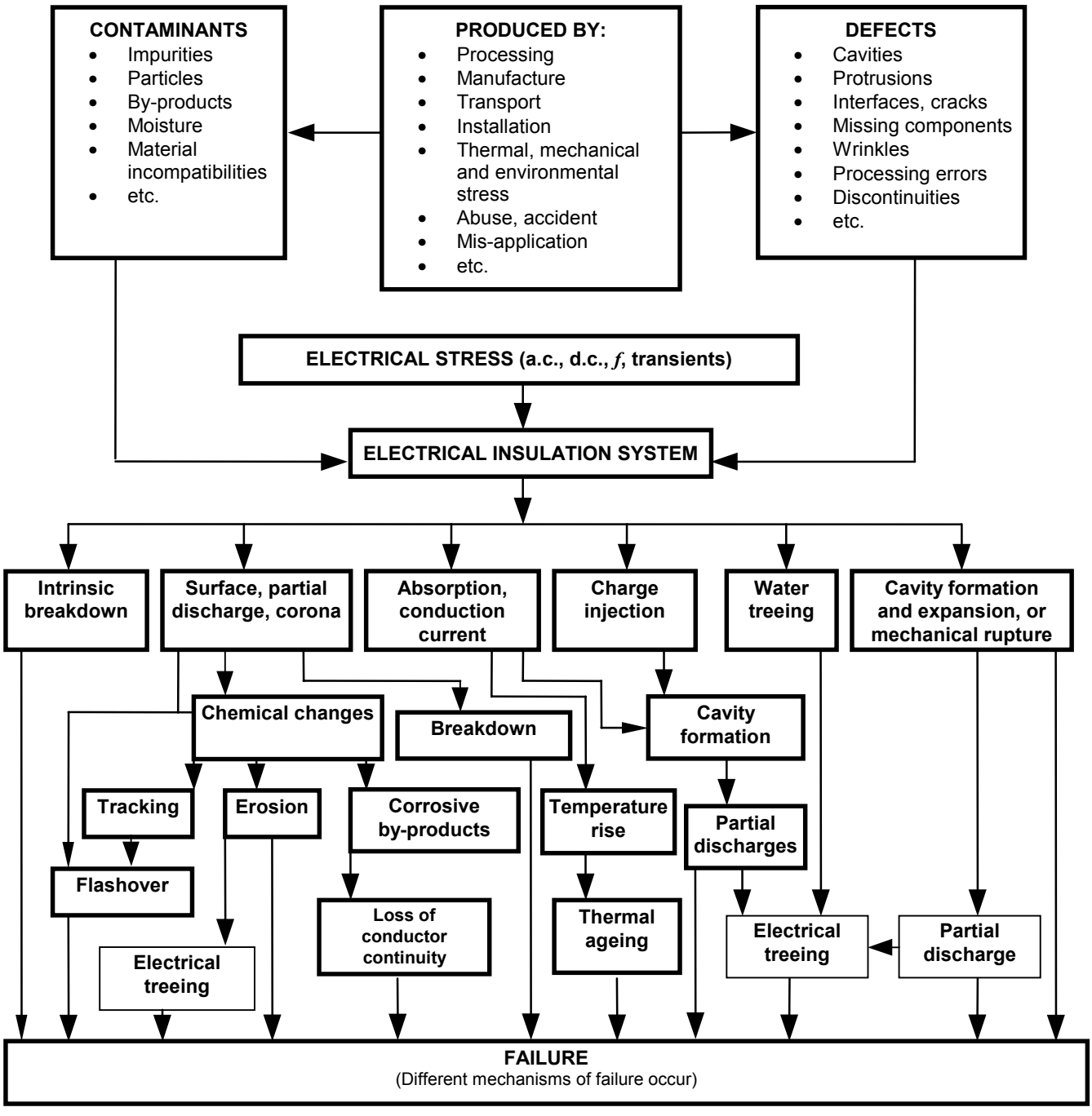
Figure B.1 – Vieillissement électrique intrinsèque/extrinsèque de SIE pratiques

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Annex B
(informative)

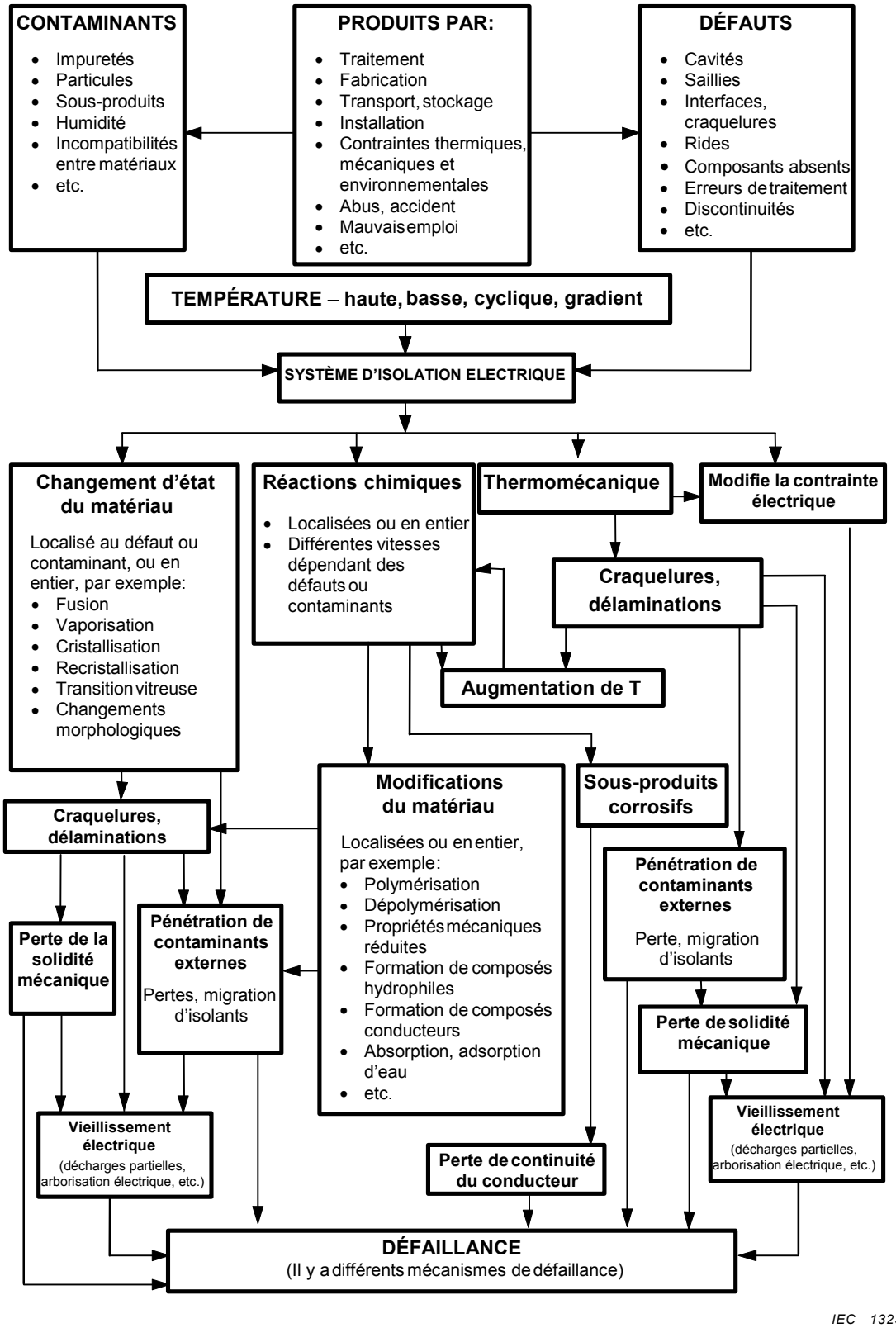
Flow charts



NOTE Other stresses may contribute to failure.

Figure B.1 – Intrinsic/extrinsic electrical ageing of practical EIS

--`,,,,`-`-`,,`,,`,`,,`---
Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

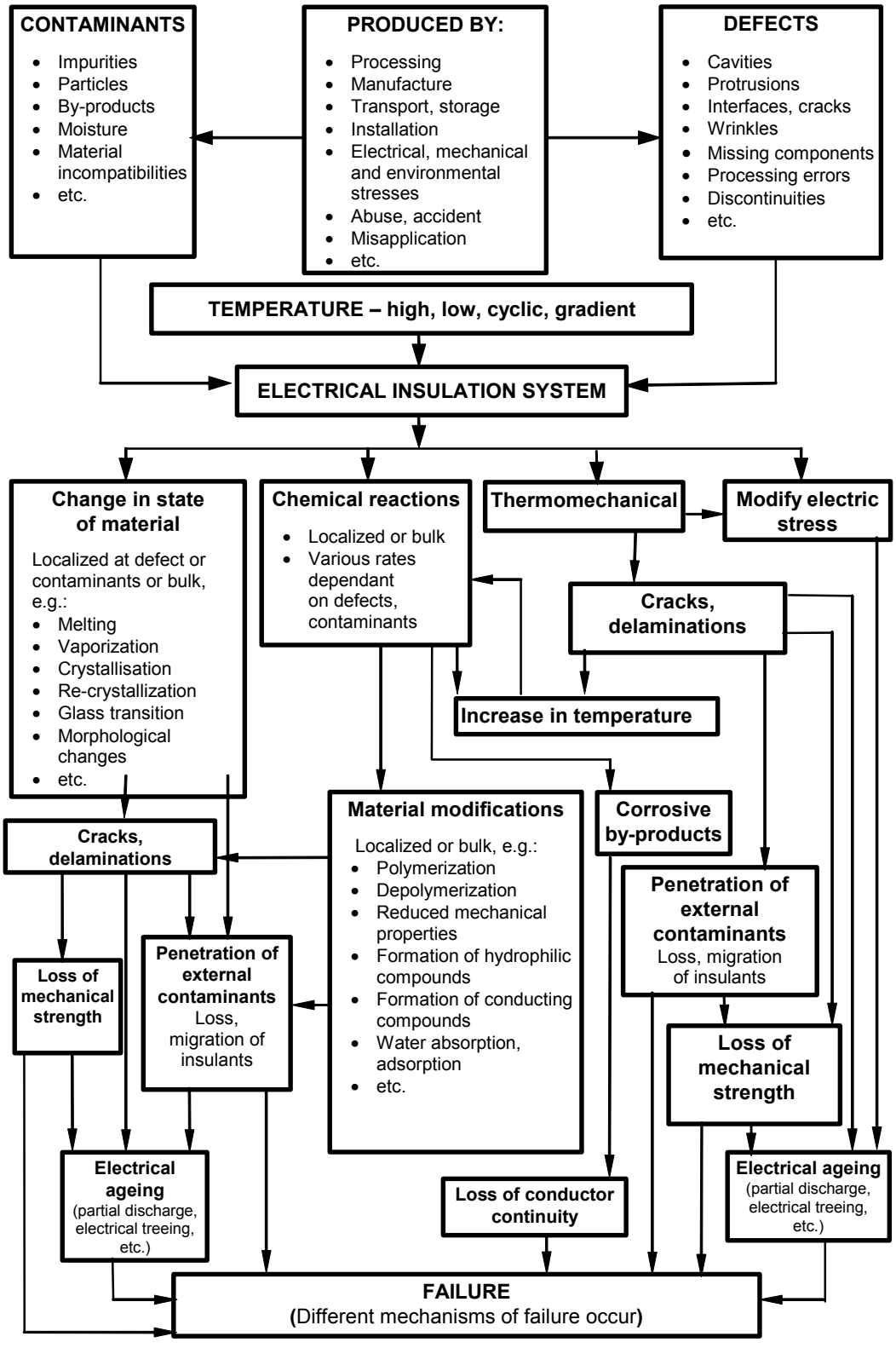


NOTE D'autres contraintes peuvent contribuer à la défaillance.

Figure B.2 – Vieillissement thermique intrinsèque/extrinsèque de SIE pratiques

--`,,```-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

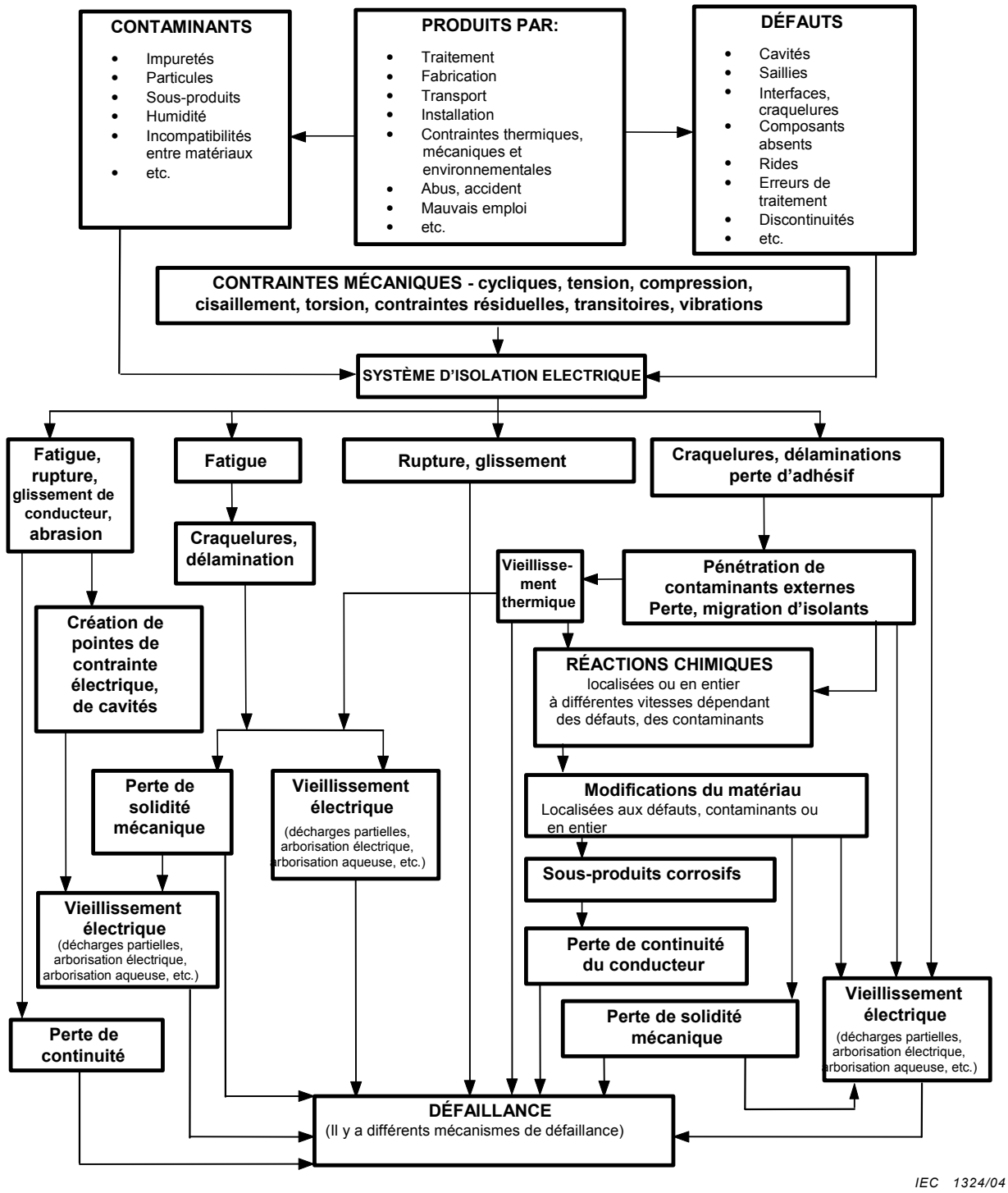


IEC 1323/04

NOTE Other stresses may contribute to failure.

Figure B.2 – Intrinsic/extrinsic thermal ageing of practical EIS

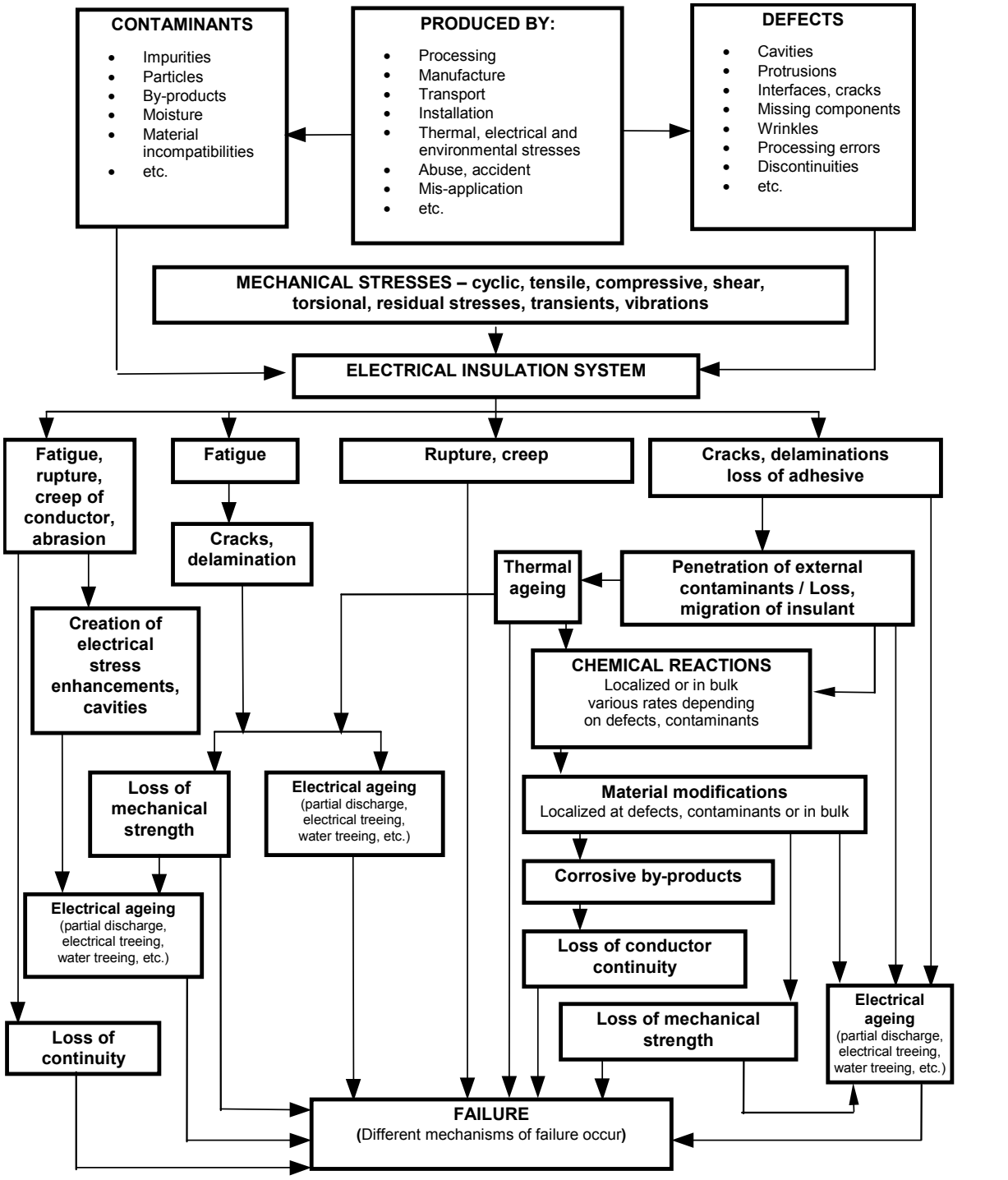
Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale



NOTE D'autres contraintes peuvent contribuer à la défaillance.

Figure B.3 – Vieillissement mécanique intrinsèque/extrinsèque de SIE pratiques

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

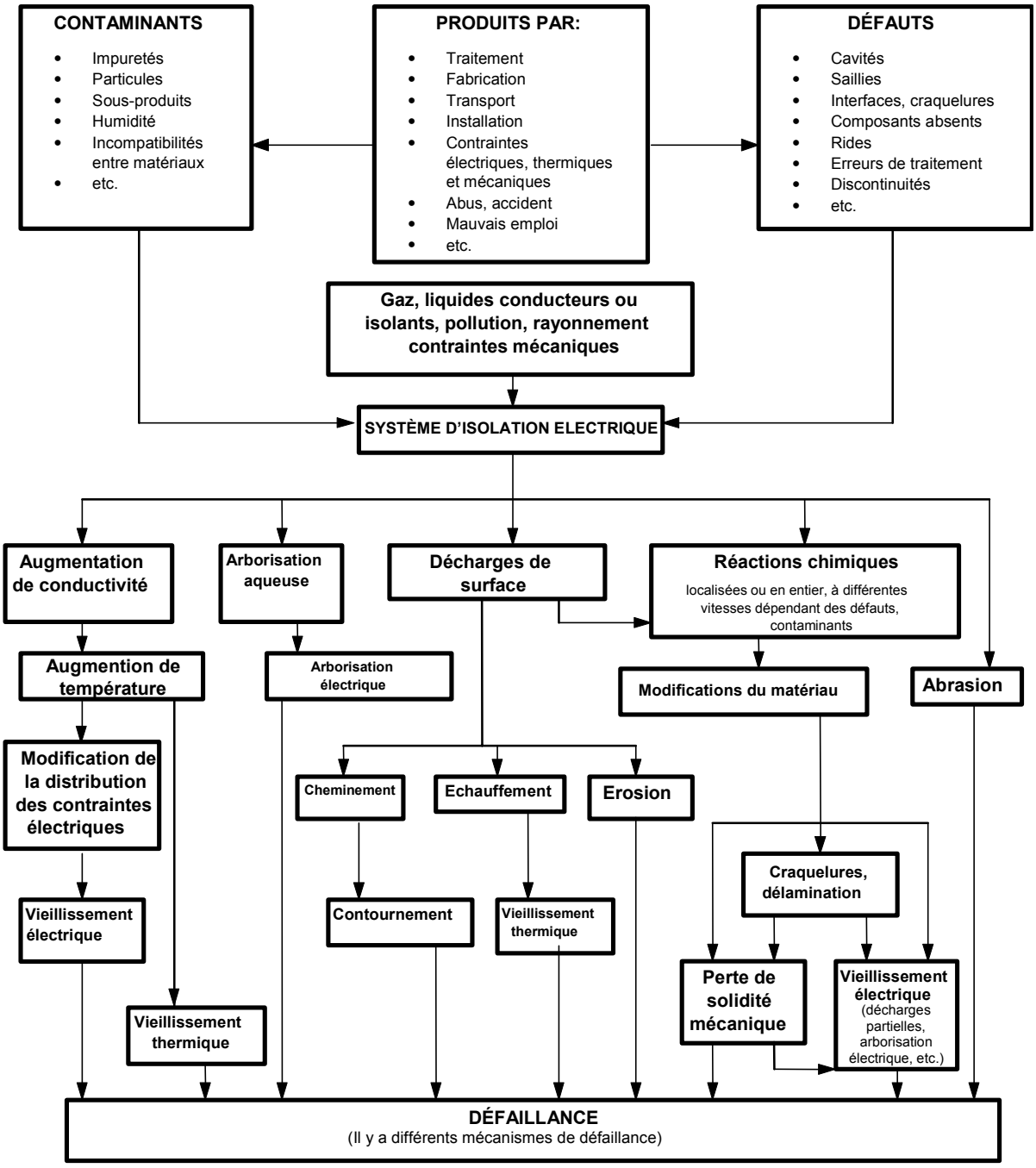


NOTE Other stresses may contribute to failure.

Figure B.3 – Intrinsic/extrinsic mechanical ageing of practical EIS

--`,,,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

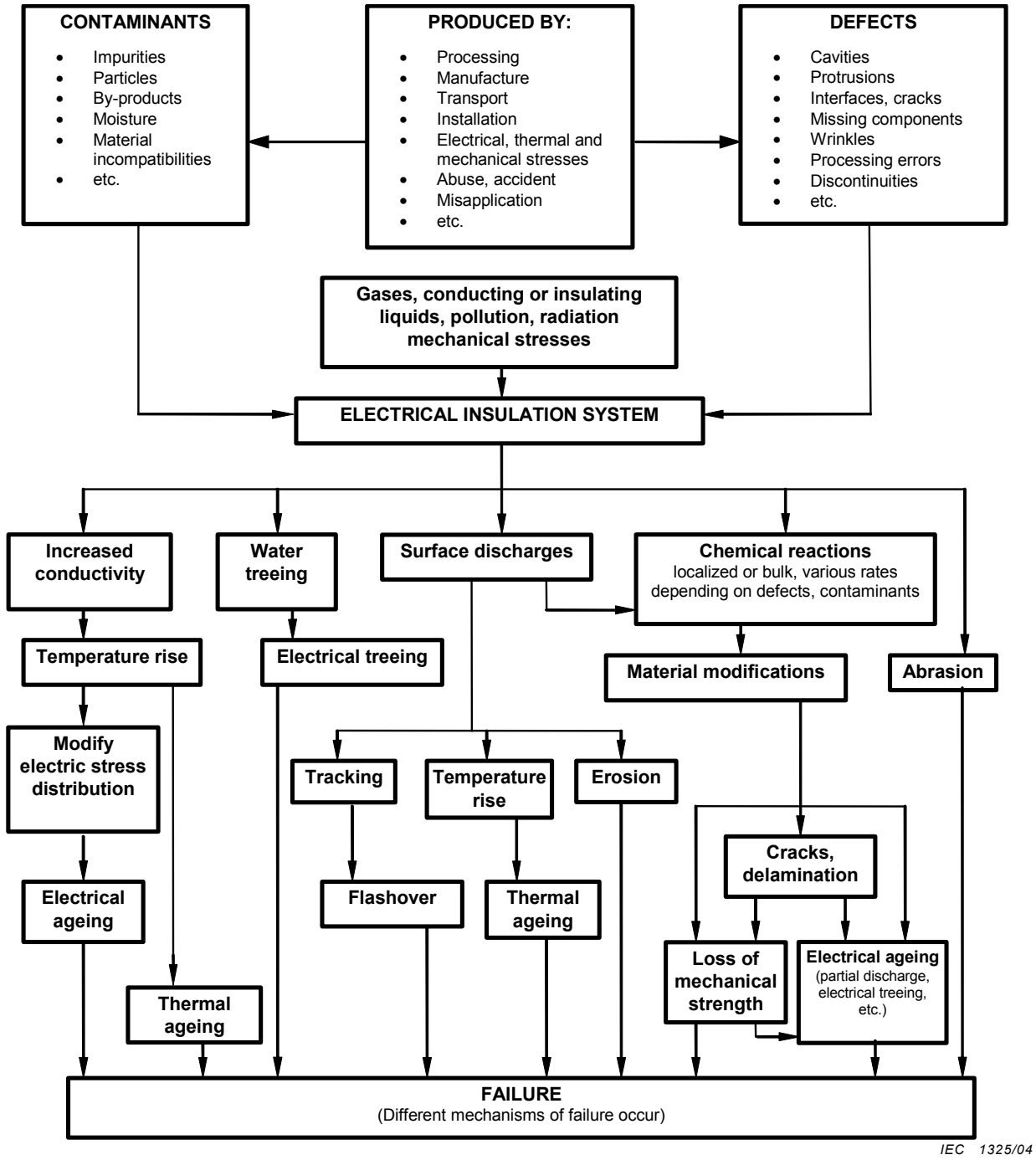


IEC 1325/04

NOTE D'autres contraintes peuvent contribuer à la défaillance.

Figure B.4 – Vieillissement environnemental intrinsèque/extrinsèque de SIE pratiques

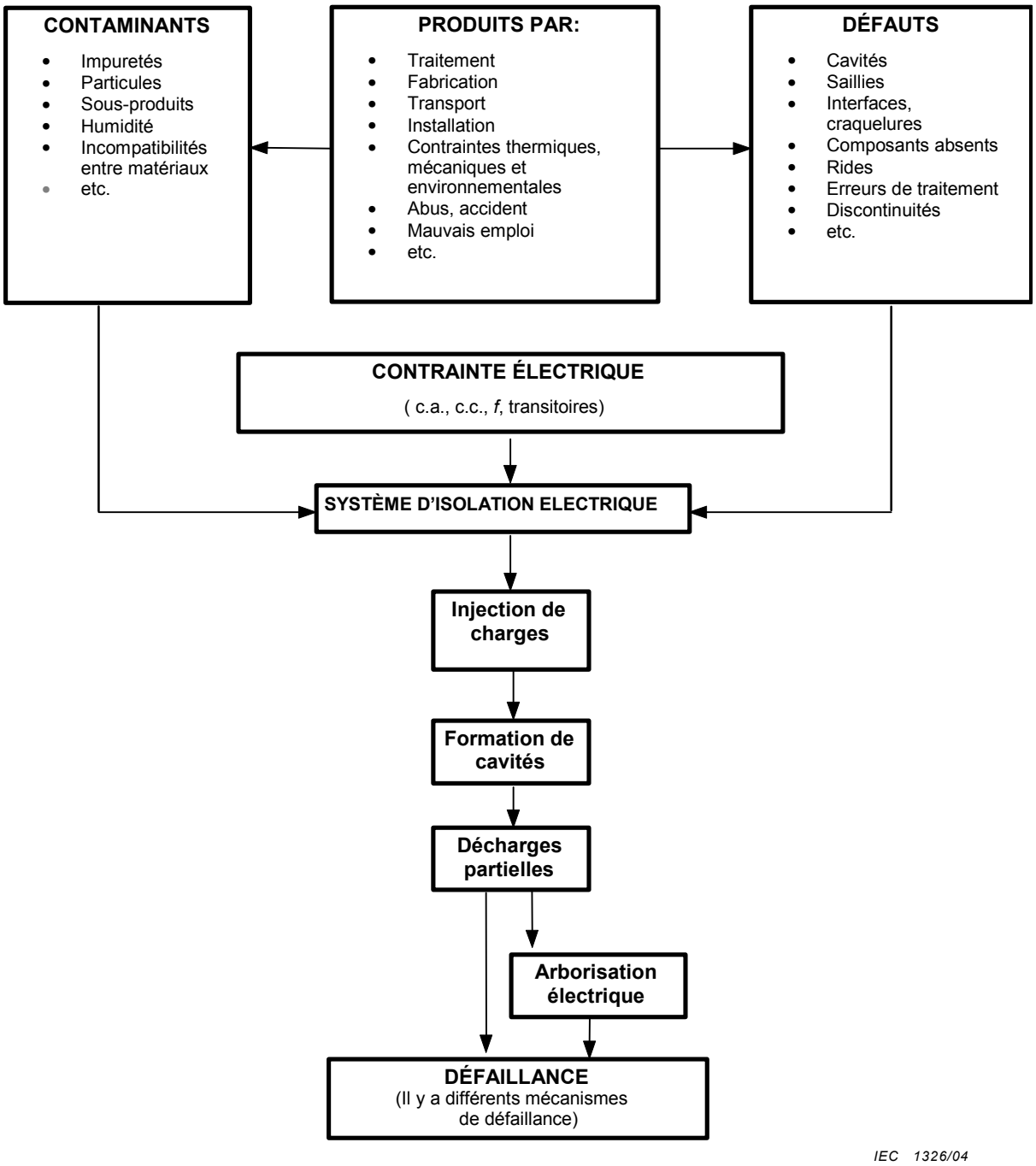
Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale



NOTE Other stresses may contribute to failure.

Figure B.4 – Intrinsic/extrinsic environmental ageing of practical EIS

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

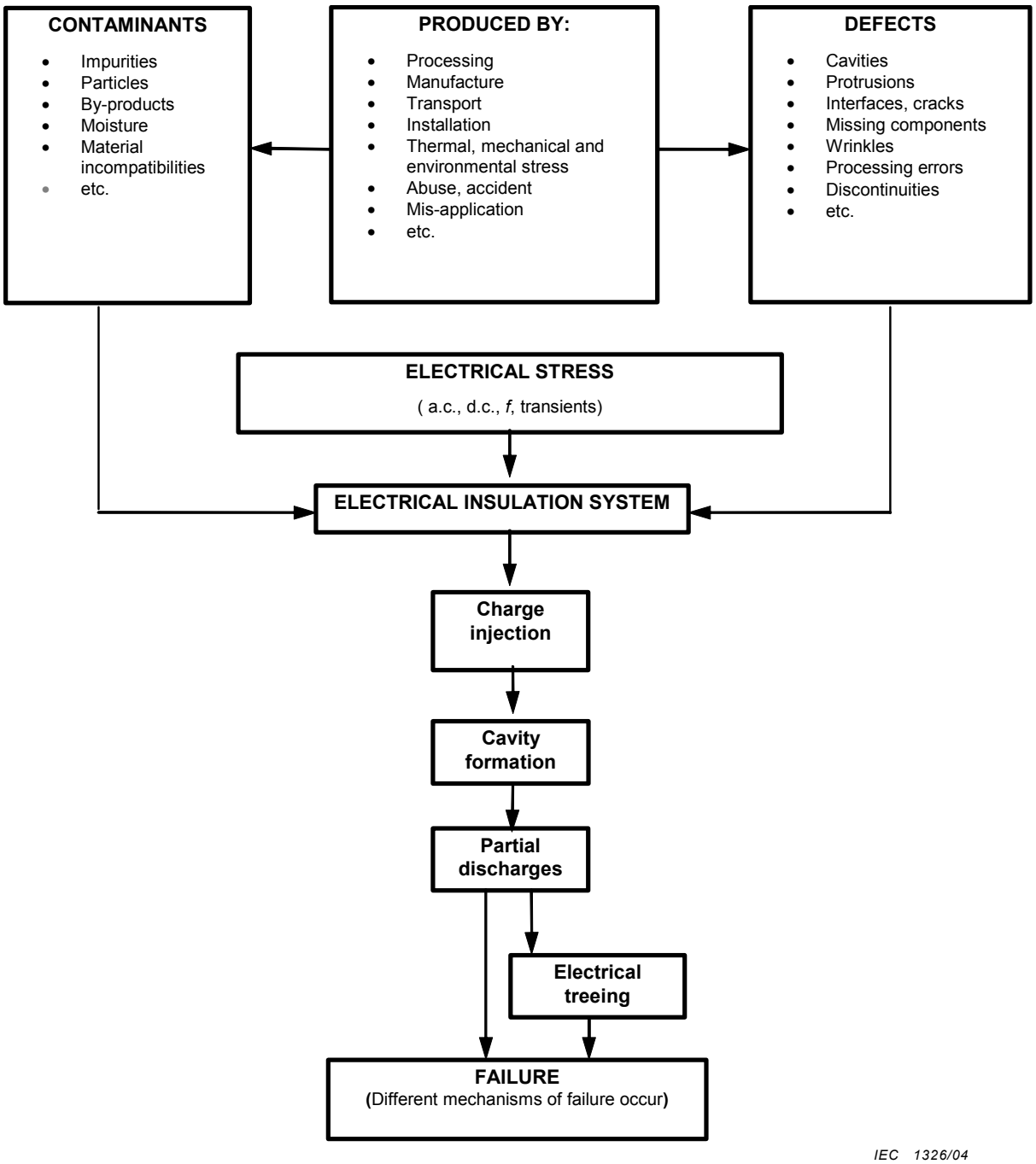


NOTE 1 D'autres contraintes peuvent contribuer à la défaillance.

NOTE 2 Le mécanisme de vieillissement électrique a lieu lors d'augmentation de la contrainte électrique ou au niveau des défauts, soit dans l'isolation, soit aux interfaces.

Figure B.5 – Exemple de vieillissement d'un SIE réel où le vieillissement électrique est le facteur de vieillissement dominant

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

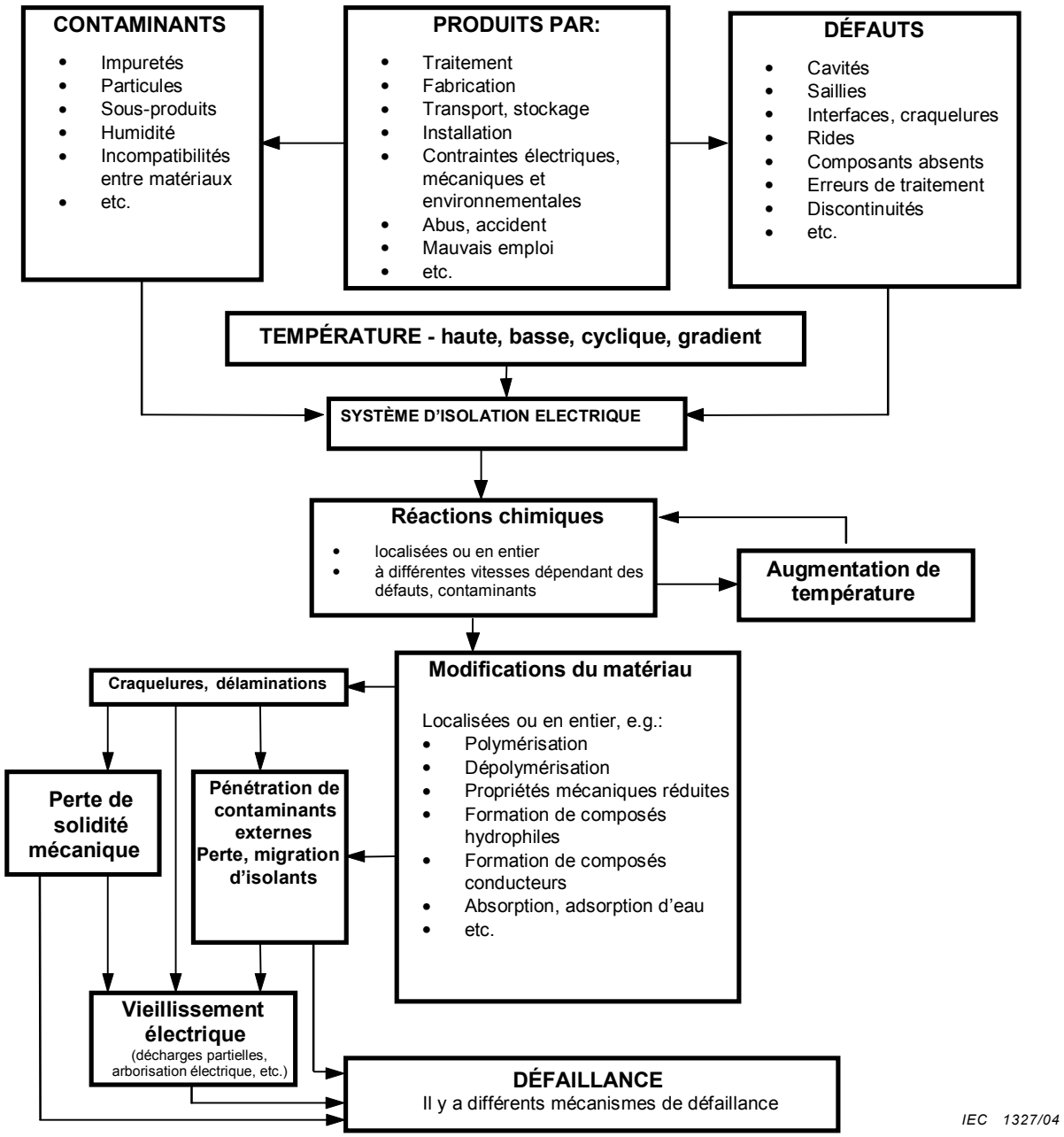


NOTE 1 Other stresses may contribute to failure.

NOTE 2 Electrical ageing mechanism occurs at electrical stress enhancements or defects either within the insulation or at interfaces.

Figure B.5 – Example of ageing of practical EIS where electrical ageing is the dominant factor

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale



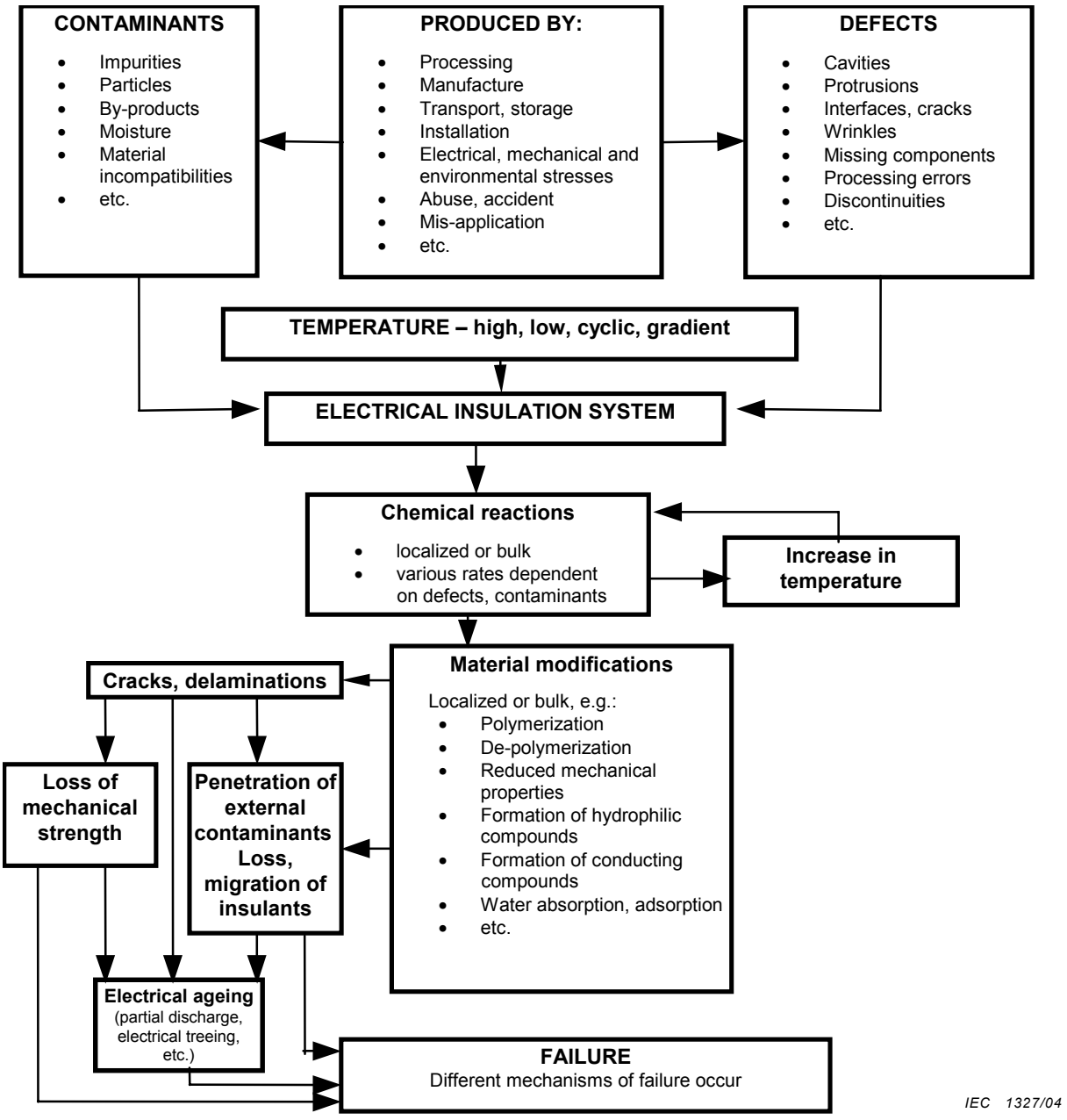
NOTE 1 D'autres contraintes peuvent contribuer à la défaillance.

NOTE 2 Le vieillissement thermique débute habituellement au niveau des défauts et/ou des points chauds dans l'isolation.

Figure B.6 – Exemple de vieillissement d'un SIE réel où le vieillissement thermique est le facteur de vieillissement dominant

--`,,,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

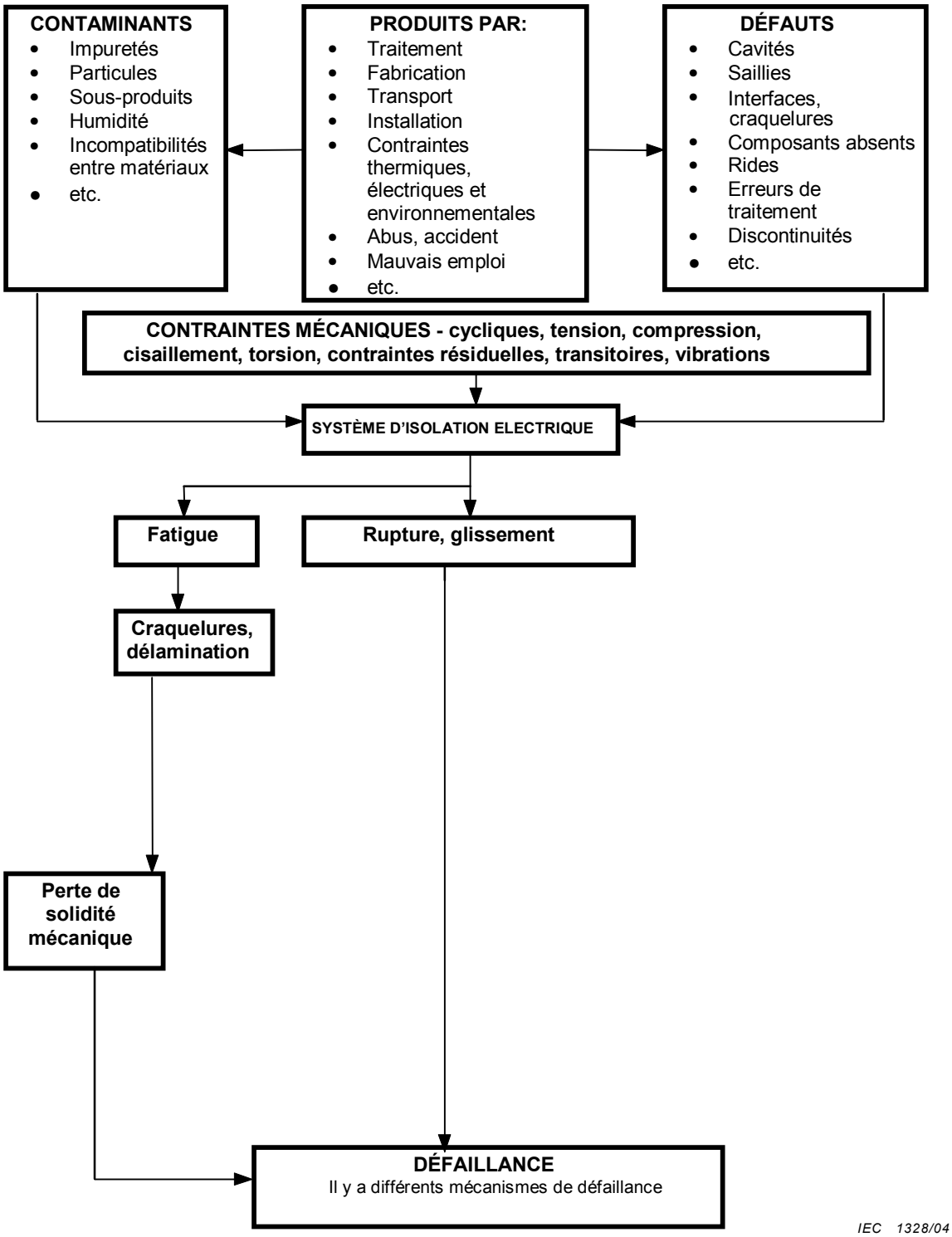


NOTE 1 Other stresses may contribute to failure.

NOTE 2 Thermal ageing will usually initiate at defects and/or hot spots in the insulation.

Figure B.6 – Example of ageing of practical EIS where thermal ageing is the dominant factor

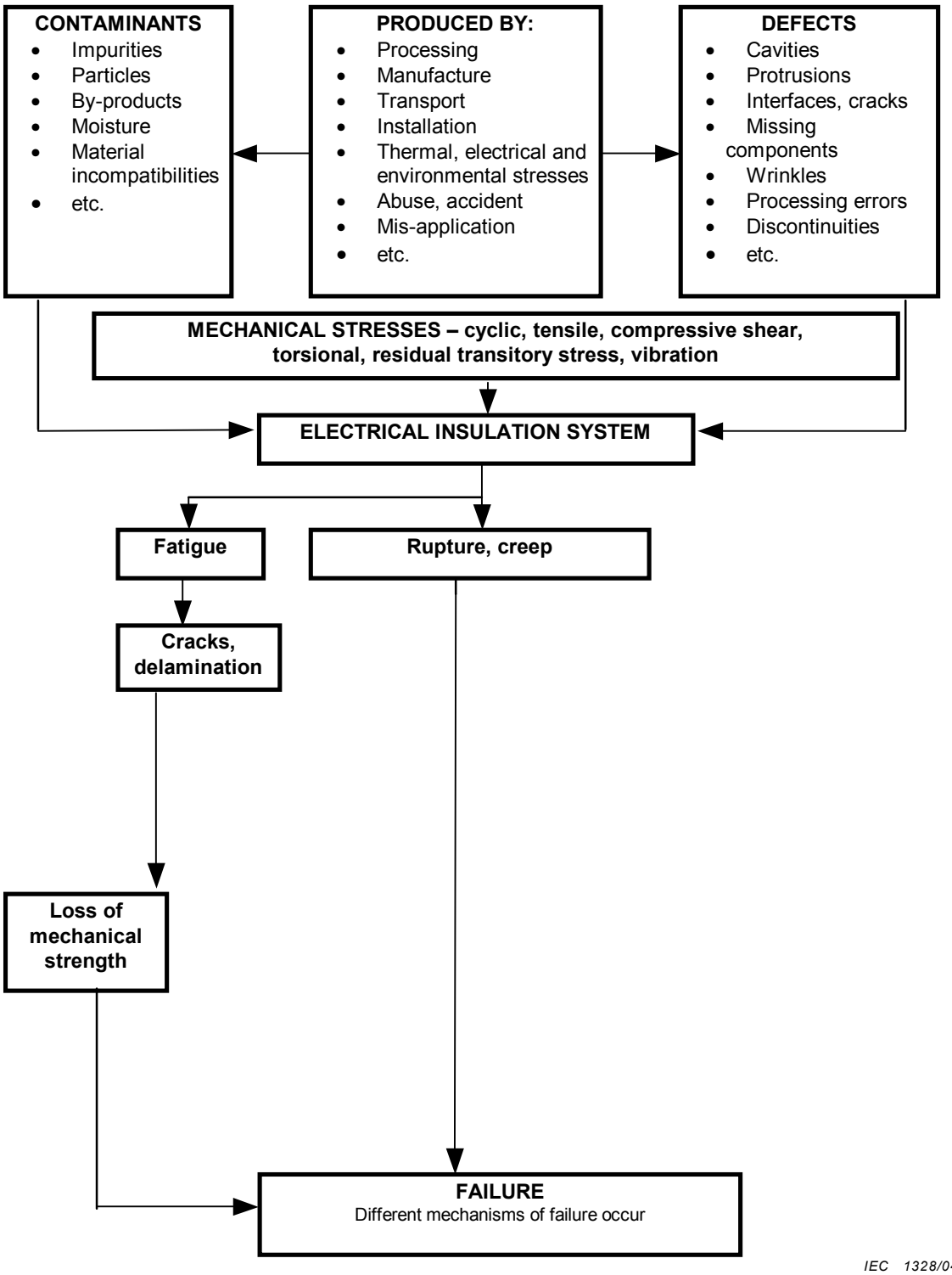
Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale



NOTE D'autres contraintes peuvent contribuer à la défaillance.

Figure B.7 – Exemple de vieillissement d'un SIE réel où le vieillissement mécanique est le facteur de vieillissement dominant

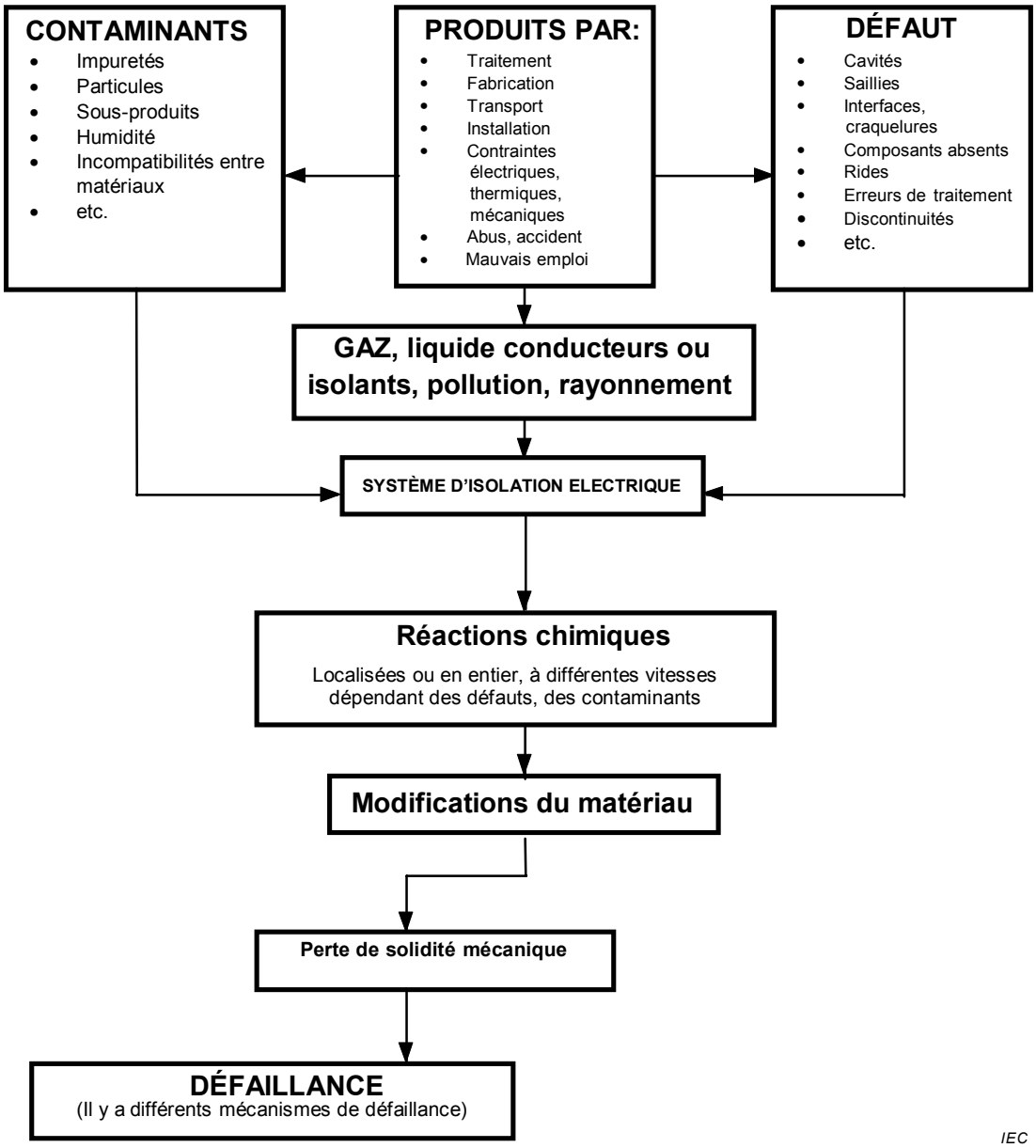
Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale



NOTE Other stresses may contribute to failures.

Figure B.7 – Example of ageing of practical EIS where mechanical ageing is the dominant factor

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

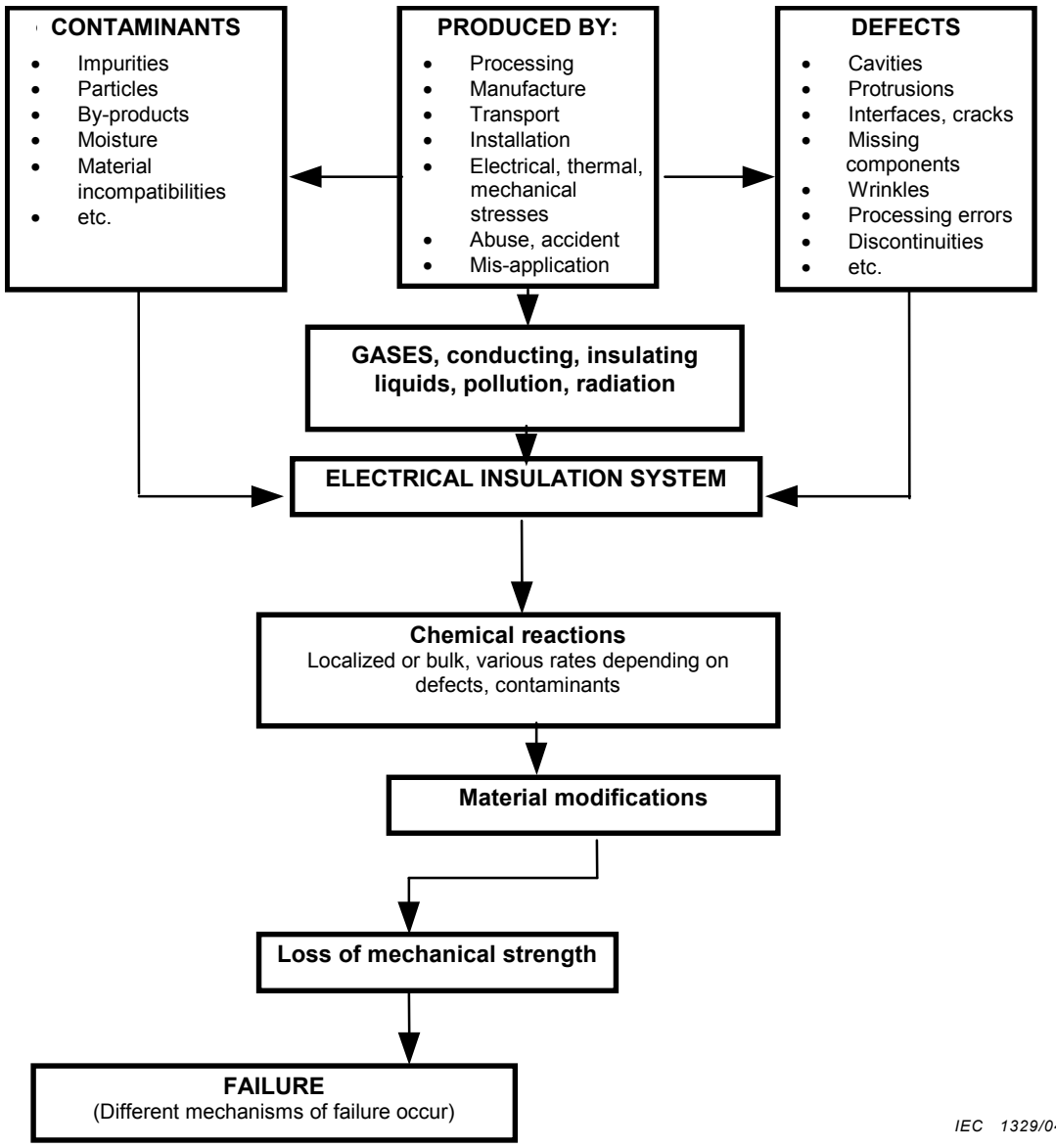


NOTE 1 D'autres contraintes peuvent contribuer à la défaillance.

NOTE 2 Le vieillissement dû aux contraintes environnementales débute habituellement au niveau de concentrations localisées de liquides/gaz etc. ou de contaminants. La température peut avoir un effet significatif sur le vieillissent dû aux contraintes environnementales.

Figure B.8 – Exemple de vieillissement d'un SIE réel où le vieillissement dû aux contraintes environnementales est le facteur de vieillissement dominant

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale



NOTE 1 Other stresses may contribute to failure.

NOTE 2 The environmental ageing will usually initiate at localized concentrations of liquid/gases, etc. or at contaminants. Temperature may have a significant effect on environmental ageing.

Figure B.8 – Example of ageing of practical EIS where environmental ageing is the dominant factor

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Annexe C
(informative)

Choix des essais de diagnostic et de leurs niveaux de contrainte

Lors du choix des types des essais de diagnostic et de leurs niveaux de contrainte, les principes d'analyse du Tableau C.1 et les instructions des Articles C.1 à C.4 peuvent être appliqués.

Tableau C.1 – Analyse des contraintes potentiellement destructives (ces contraintes ne causent pas de vieillissement appréciable)

1 Facteurs potentiellement destructifs et leur niveau	2 Action
CONTRAINTE MECANIQUE:	Choisir dans C.1:
- Accélération maximale de vibration ≤ 2 m/s^2	- Pas d'essai de vibration
- Accélération maximale de vibration > 2 m/s^2	- Essai de vibration (A)
- Niveau de choc maximal > 15 m/s^2	- Essai de choc CEI 60068-2-27, (B)
- Contraintes mécaniques négligeables	- Pas d'essai mécanique
- Contraintes mécaniques intermédiaires (contrainte de flexion entre 1 % et 5 % de la force)	- Essai de vibration (A)
- Contraintes mécaniques élevées (contrainte de flexion >5 % de la force)	- Essai spécial, avec environ 2 x (contraintes de service) (C)
- Tensions mécaniques élevées	- Essai spécial, avec environ 2 x (contraintes de service) (C)
- Contraintes thermomécaniques importantes: valeur de crête, fréquence d'apparition	- Essai spécial (non inclus dans C.1)
- Autres contraintes mécaniques	- Essai spécial (non inclus dans C.1)
HUMIDITE:	
- Toujours inférieure à 75 % d'humidité relative	- Passer C.2
- Supérieure à 75% d'humidité relative sans condensation	- Choisir la procédure appropriée
- Condensation sur l'isolation	Dans l'Article C.2
- Submersion ou trempage complet possible sous tension	
TENSION: courant continu, alternatif ou pulsatoire	
- Tension nominale maximale de l'isolation	- Choisir des tensions d'essai appropriées dans l'Article C.4
- Tensions maximales entre parties importantes, dont le court-circuit conduit à une défaillance: valeurs de crête et fréquence d'apparition	
CONTRAINTE THERMIQUE:	
- Température maximale de courte durée	- Choisir un essai approprié dans l'Article C.3
- Gradient maximal de température	
- Très basse température de fonctionnement	
POUSSIERES CONDUCTRICES SUR LIGNES DE FUITE:	
- Poussière de carbone ou similaire	- Envisager des essais de diagnostic supplémentaires, voir l'Article C.5
- Sel etc., conducteur si humide	
AUTRES CONTRAINTES POTENTIELLEMENT DESTRUCTIVES:	
- Produits chimiques	- Essai spécial

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Annex C
(informative)

Selection of diagnostic tests and their stress levels

When selecting the types of diagnostic tests and their stress levels, the analysing principles of Table C.1 and the instructions in Clauses C.1 to C.4 may be applied.

Table C.1 – Analysis of potentially destructive stresses (these stresses do not cause appreciable ageing)

1 Potentially destructive factors and their levels	2 Action
MECHANICAL STRESS:	Choose from C.1:
- Maximum vibration acceleration ≤ 2 m/s^2	- No vibration test
- Maximum vibration acceleration > 2 m/s^2	- Vibration test (A)
- Maximum shock level > 15 m/s^2	- IEC 60068-2-27, shock test (B)
- Mechanical stresses negligible	- No mechanical test
- Mechanical stresses intermediate (flexural strength between 1 % and 5 % of the strength)	- Vibration test (A)
- Mechanical stresses high (flexural stress >5 % of the strength	- Special test, with approximately 2 x (service stresses) (C)
- Mechanical strains high	- Special test, with approximately 2 x (service strains) (C)
- Thermomechanical stresses important: peak value, frequency of occurrence	- Special test (not included in C.1)
- Other mechanical stresses	- Special test (not included in C.1)
HUMIDITY:	
- Always lower than 75 % relative humidity	- Skip C.2
- Over 75 % relative without condensation	- Select appropriate procedure
- Condensation on insulation	In Clause C.2
- Submersion or thorough wetting possible when energized	
VOLTAGE: d.c., a.c. or pulsating	
- Maximum nominal voltage of insulation	- Select appropriate test voltages from Clause C.4
- Maximum voltages between important parts, the short-circuiting of which leads to failure: peak values and frequency of occurrence	
THERMAL STRESS:	
- Maximum short-time temperature	- Select appropriate test from Clause C.3
- Maximum temperature gradient	
- Very low operating temperature	
CONDUCTING DIRT ON CREEPAGES:	
- Carbon dust or similar	- Consider additional diagnostic tests, see Clause C.5
- Salt, etc., conducting when wet	
OTHER POTENTIALLY DESTRUCTIVE STRESSES:	
- Chemicals	- Special test

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

C.1 Essais mécaniques

Aussi souvent que possible, l'essai de contrainte mécanique peut être choisi parmi ceux donnés ci-dessous:

a) Essai de vibration

Fréquence: f = 40 Hz à 130 Hz

Amplitude: $x = a/(2\pi f)^2$

Accélération: a = 15 m/s^2

Durée d'essai: durée équivalente à 360 000 cycles $t = 100/f$ h

b) Essai de choc (CEI 60068-2-27)

Nombre de chocs: il convient qu'il soit choisi pour correspondre au nombre de chocs en service d'une manière appropriée

Accélération maximale: 50 m/s^2 à 60 m/s^2

c) Essai spécial

Nombre recommandé de cycles de contrainte ou durée d'essai: un dixième du nombre attendu de cycles de contrainte ou du temps de contrainte en service.

Contrainte maximale: 2 x contrainte attendue en service (cela comprend un facteur de sécurité modéré).

C.2 Essais d'humidité

Aussi souvent que possible, il convient que l'essai d'humidité soit choisi parmi ceux indiqués ci-dessous, à la suite de l'analyse selon 4.3.4.1.

Détails de l'essai d'humidité: suivre la norme d'essai appropriée.

a) Essai d'humidité sans condensation

Avant l'essai d'humidité, préchauffer les objets d'essai entre 40 °C et 50 °C. Placer les objets d'essai chauds directement dans la chambre d'humidité, qui a été pré-stabilisée à une température de (40 ± 1) °C et une humidité relative de (90-95) %.

Durée d'essai d'humidité: 2 jours ± 1 h.

b) Essai d'humidité avec condensation visible

Il convient que les objets d'essai soient exposés pendant 2 jours ± 1 h dans une atmosphère de (95-100) % d'humidité relative (R.H.) avec un dépôt d'humidité visible sur la surface d'isolation.

Il convient que les essais de tensions suivant l'essai d'humidité soient réalisés alors que les éprouvettes sont encore dans la chambre d'essai d'humidité.

Une méthode d'essai possible pour obtenir des dépôts d'humidité visibles de manière reproductible consiste à refroidir les éprouvettes (3-5) K en dessous de l'air ambiant dans une atmosphère à 100 % R.H.

c) Essai d'immersion

Immerger les éprouvettes dans de l'eau dé-ionisée à une température de (30 ± 1) °C pendant (30 ± 5) min.

Qualité de l'eau: conductivité avant l'essai <0,05 S/m (≤500 µS/cm) et tension de surface ≤0,031 N/m à 25 °C.

Il convient que les essais de tension suivant l'essai d'immersion soient réalisés lorsque les éprouvettes sont encore immergées.

d) Essais d'aspersion

Les essais d'aspersion peuvent souvent être utilisés à la place de l'essai d'immersion. Suivre la norme d'essai appropriée.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

C.1 Mechanical tests

Whenever possible, the mechanical stress test can be selected from the following alternatives:

a) Vibration test

Frequency: f = 40 Hz to 130 Hz

Amplitude: $x = a/(2\pi f)^2$

Acceleration: a = 15 m/s^2

Test time: time equivalent to 360 000 cycles $t = 100/f$ h

b) Shock test (IEC 60068-2-27)

Number of shocks: to be selected to correspond with the number of shocks in service in an appropriate way

Maximum acceleration: 50 m/s^2 to 60 m/s^2

c) Special test

Recommended number of stress cycles or length of test time: one-tenth of the expected number of stress cycles or stressing time in service.

Maximum stress: 2 x expected stress in service (this includes a moderate safety factor).

C.2 Moisture tests

Whenever possible, the moisture test should be selected from the following alternatives, as a result of analysis according to 4.3.4.1.

Details of the moisture test: follow the appropriate test standard.

a) Moisture test without condensation

Before the moisture test, preheat the test objects to between 40 °C and 50 °C. Place the warm test objects directly in the moisture chamber, which has been prestabilized to a temperature of (40 ± 1) °C and a relative humidity of (90-95) %.

Moisture test time: 2 days ± 1 h.

b) Moisture test with visible condensation

Test objects should be exposed for 2 days ± 1 h in an atmosphere of (95-100) % relative humidity (R.H.) with visible moisture deposition on the insulation surface.

Voltage tests following the moisture test should be made while the specimens are still in the moisture test chamber.

A possible test method to obtain visible moisture depositions in a reproducible way is to cool the test specimens (3-5) K lower than the surrounding air in an atmosphere at 100 % R.H.

c) Immersion test

Immerse the test specimens in de-ionized water at a temperature of (30 ± 1) °C for (30 ± 5) min.

Water quality: conductivity before the test <0,05 S/m (≤500 µS/cm), and surface tension ≤0,031 N/m at 25 °C.

Voltage tests following the immersion test should be conducted while the specimens are still immersed.

d) Spray tests

Spray tests may often be used instead of immersion test. Follow the appropriate test standard.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

C.3 Essais thermiques

a) Essai de chaleur sèche

On peut appliquer la CEI 60068-2-2.

b) Essai de froid

On peut appliquer la CEI 60068-2-1.

c) Variations de température

On peut appliquer la CEI 60068-2-14.

C.4 Essais de tension

Afin de vérifier l'état des éprouvettes et de déterminer quand la fin de leur durée de vie utile a été atteinte, une tension d'essai peut être appliquée comme partie des essais de diagnostic choisis.

a) Essai de tenue à 48 Hz – 62 Hz (voir la CEI 60664)

La tension est appliquée entre les parties qui fonctionnent à des niveaux différents de tension, à température ambiante ou à la température de l'essai d'humidité approprié. Il convient que la norme d'essai de matériel soit appliquée lorsque cela est possible.

Les tensions d'essai sont choisies pour représenter les niveaux que l'isolation risque de subir dans le cas le plus défavorable en service. En règle générale, il convient que les tensions d'essai soient inférieures à celles utilisées pour les essais d'une isolation neuve.

Durée d'essai: 1 min, ou (dans le cas où l'exposition à l'humidité est utilisée) 10 min.

b) Essai de tension de claquage à 48 Hz – 62 Hz

Suivre la norme appropriée d'essai de tension.

c) Essai de tension pulsatoire

Suivre la norme appropriée d'essai de tension pulsatoire, par exemple CEI 60664.

Les tensions d'essai sont choisies pour représenter les niveaux que l'isolation risque de subir dans le cas le plus défavorable en service. En règle générale, il convient que les tensions d'essai soient inférieures à celles utilisées pour essayer une isolation neuve.

C.5 Autres essais de diagnostic

Ces essais peuvent être des mesures de propriété de diagnostic pour clarifier le processus de dégradation. En outre, ces essais peuvent servir à produire le critère de point limite, et dans ce cas il convient qu'ils soient liés de manière reconnue aux conditions et prescriptions en service.

Par exemple, on utilise fréquemment les essais de diagnostic suivants:

- essais de décharges partielles;
- mesure de facteur de dissipation électrique (tan delta) et de capacité.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

C.3 Thermal tests

a) Dry heat test

IEC 60068-2-2 may be applied.

b) Cold test

IEC 60068-2-1 may be applied.

c) Change of temperature

IEC 60068-2-14 may be applied.

C.4 Voltage tests

In order to check the condition of the specimens and to determine when the end of their useful life has been reached, a test voltage may be applied as a part of the selected diagnostic tests.

a) Withstand test at 48 – 62 Hz (see IEC 60664)

The voltage is applied between parts operating at different voltage levels, at room temperature or at the temperature of the appropriate moisture test. The equipment test standard should be applied when feasible.

Test voltages are selected to represent such levels that are expected to stress the insulation in the worst case in service. As a rule, the test voltages should be lower than those used for testing a new insulation.

Test duration: 1 min, or (in case the moisture exposure is used) 10 min.

b) Breakdown voltage test at 48 – 62 Hz

Follow the appropriate voltage test standard.

c) Impulse voltage test

Follow the appropriate impulse voltage test standard, for example IEC 60664.

Test voltages are selected to represent levels which are expected to stress the insulation in the worst case in service. As a rule, the test voltages should be lower than those used for testing a new insulation.

C.5 Other diagnostic tests

These tests may be diagnostic property measurements to clarify the degradation process Moreover, these tests may serve to produce the end point criterion, in which case they should relate in a known way to the conditions and requirements in service.

Extensively used diagnostic tests are, for example:

- partial discharge tests;
- dielectric dissipation factor (tan delta) and capacitance measurements.

--`,,,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Annexe D
(informative)

Essai à une tension croissant par paliers

D.1 Généralités

Les durées individuelles jusqu'à perforation d'un groupe d'éprouvettes identique soumis aux essais à la même tension peuvent varier dans un rapport de un à dix ou même plus, et le quotient du temps jusqu'à défaillance le plus long par le temps moyen ou médian peut être de 3 à 1 ou plus.

Ainsi, le temps jusqu'à perforation des derniers éprouvettes est beaucoup plus long que les temps moyens ou médians qui sont les valeurs utiles pour les essais.

Il est donc possible de raccourcir le temps d'un essai complet de tout le groupe d'échantillons par un essai à tension croissant par paliers.

Il est également possible d'utiliser une procédure combinée, par l'application d'une tension constante jusqu'à la valeur médiane des temps jusqu'à défaillance suivie de l'application d'une tension croissant par paliers.

D.2 Principe

Dans le cas d'un essai à tension croissant par paliers, il est nécessaire de choisir une loi mathématique pour calculer les résultats.

Différentes formules mathématiques sont proposées:

$$U^k t = A \tag{D.1}$$

$$(U - U_0)^k t = A \tag{D.1a}$$

$$U = U_0 - N \log \frac{t}{t_0} \tag{D.2}$$

dans lesquelles U et t sont respectivement les tensions appliquées et les temps d'application, U_0 et t_0 un couple de valeurs particulières, A, k et N sont des constantes propres au système en essai.

Différentes études théoriques sont été publiées pour justifier ces formules mathématiques. Certains auteurs retiennent deux fonctions de l'Equation (D.1) avec des coefficients k et k' différents de part et d'autre d'une certaine limite de temps.

Annexe D rapport se rapporte à la l'expression mathématique (D.1), qui peut s'écrire

$$k \log U + \log t = \log A$$

dont la représentation graphique est une droite en coordonnées logarithmiques.

--`,,,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Annex D
(informative)

Test using step-by-step increasing voltage

D.1 Generalities

The individual times-to-breakdown of a group of identical specimens tested at the same voltage may vary in a ratio of one to ten, or even more, and the quotient of the longest time to the median or mean time-to-failure may be 3 to 1 or more.

Therefore, the time-to-breakdown of the last specimens is much longer than the mean or median times, which are the useful values for the tests.

It is then possible to shorten the time of a complete test of the whole sample by a test at stepwise increasing voltage.

It is also possible to use a combined procedure, by the application of a constant voltage up to the median time-to-failure followed by the application of a stepwise increasing voltage.

D.2 Principle

In the case of a test using step-by-step increasing voltage, it is necessary to choose a mathematical law to calculate the results.

Various mathematical formulae have been proposed:

$$U^k t = A \tag{D.1}$$

$$(U - U_0)^k t = A \tag{D.1a}$$

$$U = U_0 - N \log \frac{t}{t_0} \tag{D.2}$$

in which U and t are respectively the applied voltages and the application times, U_0 and t_0 a couple of particular values, A, k and N are constants peculiar to the tested system.

Various theoretical studies have been published to justify these mathematical formulae. Some authors retain two functions of Equation (D.1) with different coefficients k and k', on either side of a certain time limit.

Annex D relates to mathematical expression (D.1), which may be written as

$$k \log U + \log t = \log A$$

the graphic representation of which is a straight line on log-log co-ordinates.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Cette procédure est applicable lorsque k, pente de la courbe d'endurance électrique sur un tracé logarithmique, a été approximativement établie par des essais antérieurs ou par un essai d'endurance électrique continu obtenu jusqu'à environ le temps médian jusqu'à défaillance. Les points de fin de vie pour les éprouvettes les plus endurants ou pour un autre groupe n'ayant pas encore subi d'essais d'éprouvettes similaires, peuvent être déterminés par cette procédure de tension croissant par paliers avec un gain de temps significatif.

Lorsque k est inconnu, d'autres méthodes, qui ne nécessitent pas cette connaissance, peuvent être employées. Ces méthodes sont disponibles dans des ouvrages mais sortent du domaine d'application de cette annexe.

D.3 Procédure d'essai et calcul

Dans les hypothèses définies ci-dessus, l'application d'une tension $U' = aU$ pendant un temps t consomme une portion de la vie totale équivalente à l'application de la tension U pendant un temps t, si

$$t' = \frac{1}{a^k} t$$

En particulier en choisissant $a = \sqrt[k]{2}$, l'application d'une tension U_i pendant un temps t_i est équivalente à l'application d'une tension aU_i, pendant un temps $t_i/2$.

En utilisant n éprouvettes, la tension est appliquée par paliers en progression géométrique U_0, $aU_0, \ldots, a^p U_0$ pendant des temps t_0, t_1, . t_p sur l'ensemble des éprouvettes.

Si une éprouvette d'essai est perforé à la tension apU_0, le temps total équivalent à cette tension t_a est:

$$t_a = \frac{t_0}{2^p} + \frac{t_1}{2^{p-1}} + \ldots + \frac{t_{p-1}}{2} + t_p \qquad \text{(D.3)}$$

La vie de l'éprouvette considérée à la tension $a^{\mathrm{p}} U_0$ est alors t_a, et suivant l'Équation D.1 on peut admettre qu'à une tension U, sa durée de vie serait t si

$$U^k t = \left(a^p U_0\right)^k t_a \qquad \text{(D.4)}$$

Si n éprouvettes ont été utilisés, un couple de valeurs correspond à chacun d'eux:

$$(a^{\mathrm{p}} U_0)_I \,, \quad t_{ai} \text{ avec } I = 1 \text{ à } n$$

Pour établir une distribution des valeurs relatives à ces n éprouvettes, il est facile de ramener les valeurs trouvées comme indiqué au paragraphe précédent pour chaque éprouvette à la valeur médiane des temps $\left(t_{ai}\right)_{i=1}^{i=n}$ ce temps étant prix comme le temps correspondant à la perforation de l'éprouvette $\frac{n+1}{2}$ si n est impair, ou la moyenne des temps correspondant aux éprouvettes $\frac{n}{2}$ et $\frac{n}{2}+1$, si n est pair,

supposons que t_m soit le temps. Pour chaque éprouvette, la tension correspondant à cette durée de vie par l'équation (D.4) sera calculée, ce qui donnera n tensions U_{mi}, correspondant à la vie utile t_m.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

This procedure is applicable when k, the slope of the electrical endurance curve on a log-log plot, has been approximately established by earlier tests, or by a steady-state electrical endurance test obtained up to about the median time-to-failure. End-points for longer lasting specimens, or for another untested group of similar specimens, can be determined by this procedure of step-by-step increasing voltage with a significant saving of time.

In cases where k is unknown, other strategies, which are not dependent on this knowledge, may be employed. While available in the literature, they are beyond the scope of this annex.

D.3 Test procedure and calculation

Under the assumptions defined above, the application of a voltage $U' = aU$ for a time t consumes a portion of the total life equivalent to the application of voltage U for the time t, if

$$t' = \frac{1}{a^k} t$$

By choosing $a = \sqrt[k]{2}$ particularly, the application of a voltage U_i for a time t_i is equivalent to the application of a voltage, aU_i, for a time, $t_i/2$.

By using n specimens, the voltage is applied by steps in geometrical progression U_0, $aU_0, \ldots, a^pU_0$ for times $t_0, t_1, .., t_p$ on all specimens.

If a tested specimen is punctured at the voltage a^pU_0, the total equivalent time t_a to this voltage is:

$$t_a = \frac{t_0}{2^p} + \frac{t_1}{2^{p-1}} + \ldots + \frac{t_{p-1}}{2} + t_p \qquad \text{(D.3)}$$

The life of the considered specimen at voltage a^pU_0 is then t_a, and according to Equation (D.1) it may be assumed that at any voltage U, its life would be t if:

$$U^k t = \left(a^p U_0\right)^k t_a \qquad \text{(D.4)}$$

If n specimens have been used, a couple of values correspond to each one:

$$(a^pU_0)_I \,, \quad t_{ai} \text{ with } I = 1 \text{ to } n$$

To establish a distribution of the values relating to these n specimens, it is easy to bring the values found as indicated in the preceding paragraph for each specimen back to the values corresponding to the median value of times $\left(t_{ai}\right)_{i=1}^{i=n}$ as this time is taken as the one corresponding to the puncture of specimen $\frac{n+1}{2}$ if n is odd, or the average of the times corresponding to specimens $\frac{n}{2}$ and $\frac{n}{2}+1$, if n is even,

supposing t_m is this time. For each specimen, the voltage corresponding to this life duration by Equation (D.4) will be calculated, which will thus give n voltages U_{mi}, corresponding to the useful life t_m.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

La tension moyenne doit être calculée pour le groupe d'éprouvettes à partir de ces n valeurs de tension:

$$U_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} U_{mi}$$

et les éléments relatifs à la dispersion comme l'écart type correspondant doivent aussi être calculés:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (U_{mi} - U_m)^2}{n-1}}$$

D.4 Tracé de la courbe

Si au moins quatre groupes d'éprouvettes ont été utilisés, les valeurs moyennes U_m correspondant aux temps t_m ainsi que les écarts types s ont été déterminés pour chaque groupe.

La courte de durée de vie peut également être tracée sur un papier logarithmique.

Si les hypothèses données à l'Article D.1 sont exactes, les quatre points sont alignés ou plus exactement, on peut tracer une droite à l'intérieur des limites de confiance à 95 % des valeurs moyennes de tension et la pente de cette droite en coordonnées logarithmiques correspond to au coefficient *k* de l'Équation (D.1).

Aucune extrapolation ayant un sens n'est possible, si ces deux conditions ne sont pas remplies.

D.5 Procédure d'essai combinée – Tension constante/tension croissante

Si les caractéristiques du SIE à l'essai sont suffisamment bien connues pour que la tension initiale U_0 choisie puisse être telle que la moitié des éprouvettes soient perforés dans la durée d'essai prévue, le gain de temps obtenu est maximal.

Pour cette procédure, la durée d'application t_0 du premier échelon de tension U_0 n'est pas fixée à l'avance. Elle correspond au temps jusqu'à perforation de $\frac{n+1}{2}$ éprouvettes (*n* impair), ou de $\frac{n}{2}+1$ éprouvettes (*n* pair). Les temps d'application t_1, t_2, ..., t_p des échelons de tension suivants $U_1 = aU_0$, $U_2 = a^2 U_0$, etc., pourront être pris égaux à environ $t_0/10$. Dans ces conditions, on peut s'attendre à ce que la dernière éprouvette soit perforée dans un temps total égal à ou inférieur à $1{,}4\ t_0$.

En outre, la valeur médiane des tensions de perforation de chaque groupe d'éprouvettes est déterminée sans hypothèse préalable sur la loi du vieillissement.

La procédure d'essai peut être particulièrement recommandée lorsque des essais préliminaires ont permis de connaître le niveau initial de tension U_0 à appliquer.

--`,,,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

From these n voltage values, the average voltage shall be calculated for the group of specimens:

$$U_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} U_{mi}$$

and the elements relating to the scattering such as the corresponding standard deviation shall also be calculated:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (U_{mi} - U_m)^2}{n-1}}$$

D.4 Plotting of the curve

If at least four groups of specimens have been used, the mean values U_m corresponding to times t_m as well as the standard deviations s have been determined for each group.

The life duration curve may be plotted on log-log paper.

If the assumptions given in Clause D.1 are accurate, the four points are aligned, or more exactly, a straight line can be drawn inside the limits of confidence at 95 % of the average voltage values, and the slope of this straight line with logarithmic co-ordinates corresponds to the coefficient k of Equation (D.1).

No meaningful extrapolation is possible, if both of these conditions are not complied with.

D.5 Combined test procedure – Constant voltage/increasing voltage

If the characteristics of the tested EIS are sufficiently well known in order that the chosen initial voltage U_0 may be such that half the specimens are punctured within the foreseen test duration, the obtained gain of time is maximum.

For this procedure, the application duration t_0 of the first step of voltage U_0 is not fixed in advance. It corresponds to the time-to-breakdown of specimen's number $\frac{n+1}{2}$ (n being odd), or specimen number $\frac{n}{2}+1$ (n being even). The application times t_1, t_2, ..., t_p of the following voltage steps $U_1 = aU_0$, $U_2 = a^2 U_0$, etc., will be able to equal about $t_0/10$. In these conditions, it may be expected that the last specimen will be punctured in a total time equal to or lower than 1,4 t_0.

Besides, the median value of the puncture voltage of each group of specimens is determined without previous assumption of the ageing law.

The test procedure can be recommended particularly when preliminary tests have indicated the initial level of voltage U_0 to be applied.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Bibliographie

ASTM D 750-85: *Test method for rubber deterioration in carbon arc or weathering apparatus*

CEI 60050(212):1990, *Vocabulaire Electrotechnique Internationale (VEI) – Chapitre 212: Isolants solides, liquides et gazeux*

CEI 60068-1, *Essais d'environnement – Partie 1:Généralités et guide*

CEI 60068-2 (toutes les parties), *Essais d'environnement – Partie 2:Essais*

CEI 60068-2-10, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai J et guide: Moisissures*

CEI 60112: *Méthode de détermination des indices de résistance et de tenue au cheminement des matériaux isolants solides*

CEI 60212: *Standard conditions for use prior to and during the testing of solid electrical insulating materials*

CEI 60216 (toutes les parties), *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique*

CEI 60587: *Méthode d'essai pour évaluer la résistance au cheminement et à l'érosion des matériaux isolants électriques utilisés dans des conditions ambiantes sévères*

CEI 60721 (toutes les parties) *Classification des conditions d'environnement*

CEI 60932: *Spécifications complémentaires pour l'appareillage sous enveloppe de 1 kV à 72,5 kV destiné à être utilisé dans des conditions climatiques sévères*

CEI 62114: *Systèmes d'isolation électrique (SIE) – Classification thermique*

ISO 62: *Plastiques – Détermination de l'absorption d'eau*

ISO 175: *Plastiques – Méthodes d'essai pour la détermination des effets de l'immersion dans des produits chimiques liquides*

ISO/DIS 1431-1: *Caoutchouc vulcanisé ou thermoplastique – Résistance au craquelage par l'ozone – Partie 1: Essai sous allongement statique et dynamique*

ISO 1431-2: *Caoutchouc vulcanisé ou thermoplastique – Résistance au craquelage par l'ozone – Partie 2: Essai de déformation dynamique*

ISO 1663: *Plastiques alvéolaires rigides – Détermination des caractéristiques de transmission de la vapeur d'eau*

ISO 4607: *Plastiques – Méthodes d'exposition aux intempéries*

ISO 4611: *Plastiques – Détermination des effets d'une exposition à la chaleur humide, au brouillard d'eau et au brouillard salin*

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Bibliography

ASTM D 750-85: *Test method for rubber deterioration in carbon arc or weathering apparatus*

IEC 60050(212):1990, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 212: Insulating solids, liquids and gases*

IEC 60068-1, *Environmental testing – Part 1:General and guidance*

IEC 60068-2 (all parts), *Environmental testing – Part 2: Tests*

IEC 60068-2-10: *Environmental testing. – Part 2: Tests – Test J and guidance : Mould growth*

IEC 60112: *Method for the determination of the proof and the comparative tracking indices of solid insulating materials*

IEC 60212: *Standard conditions for use prior to and during testing of solid electrical insulating materials.*

IEC 60216 (all parts), *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties*

IEC 60587: *Test methods for evaluating resistance to tracking and erosion of electrical insulating materials used under severe ambient conditions*

IEC 60721 (all parts), *Classification of environmental conditions*

IEC 60932: *Additional requirements for enclosed switchgear and controlgear from 1 kV to 72,5 kV to be used in severe climatic conditions*

IEC 62114: *Electrical Insulation Systems (EIS) – Thermal classification*

ISO 62: *Plastics – Determination of water absorption*

ISO 175: *Plastics – Methods of test for the determination of the effects of immersion in liquid chemicals*

ISO/DIS 1431-1: *Rubber, vulcanized or thermoplastic – Resistance to ozone cracking – Part 1: Static and dynamic strain testing*

ISO 1431-2: *Rubber, vulcanized or thermoplastic – Resistance to ozone cracking – Part 2: 1994, Dynamic strain test*

ISO 1663: *Rigid cellular plastics – Determination of water vapour transmission properties*

ISO 4607: *Plastics – Methods of exposure to natural weathering*

ISO 4611: *Plastics – Determination of the effects of exposure to damp heat, water spray and salt mist*

--`,,,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

ISO 4665-1: *Caoutchouc vulcanisé ou thermoplastique – Résistance aux intempéries – Partie 1: Evaluation des variations des propriétés après exposition aux agents atmosphériques ou à la lumière artificielle*

ISO 4665-2: *Caoutchouc vulcanisé ou thermoplastique – Résistance aux intempéries – Partie 2: Méthodes d'exposition agents atmosphériques*

ISO/TR 7620: *Matériaux en caoutchouc – Résistance chimique*

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

ISO 4665-1: *Rubber vulcanized – Resistance to weathering – Part 1: Assessment of changes in properties after exposure to natural weathering or artificial light*

ISO 4665-2: *Rubber vulcanized – Resistance to weathering – Part 2: Methods of exposure to natural weathering*

ISO/TR 7620: *Rubber materials – Chemical resistance*

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

Standards Survey

The IEC would like to offer you the best quality standards possible. To make sure that we continue to meet your needs, your feedback is essential. Would you please take a minute to answer the questions overleaf and fax them to us at +41 22 919 03 00 or mail them to the address below. Thank you!

Customer Service Centre (CSC)

International Electrotechnical Commission
3, rue de Varembé
1211 Genève 20
Switzerland

or

Fax to: **IEC**/CSC at +41 22 919 03 00

Thank you for your contribution to the standards-making process.

Nicht frankieren
Ne pas affranchir

Non affrancare
No stamp required

A Prioritaire

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Customer Service Centre (CSC)
International Electrotechnical Commission
3, rue de Varembé
1211 GENEVA 20
Switzerland

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

Q1 Please report on **ONE STANDARD** and **ONE STANDARD ONLY**. Enter the exact number of the standard: *(e.g. 60601-1-1)*

.....

Q2 Please tell us in what capacity(ies) you bought the standard *(tick all that apply).* I am the/a:

purchasing agent ❑
librarian ❑
researcher ❑
design engineer ❑
safety engineer ❑
testing engineer ❑
marketing specialist ❑
other.....

Q3 I work for/in/as a: *(tick all that apply)*

manufacturing ❑
consultant ❑
government ❑
test/certification facility ❑
public utility ❑
education ❑
military ❑
other.....

Q4 This standard will be used for: *(tick all that apply)*

general reference ❑
product research ❑
product design/development ❑
specifications ❑
tenders ❑
quality assessment ❑
certification ❑
technical documentation ❑
thesis ❑
manufacturing ❑
other.....

Q5 This standard meets my needs: *(tick one)*

not at all ❑
nearly ❑
fairly well ❑
exactly ❑

Q6 If you ticked NOT AT ALL in Question 5 the reason is: *(tick all that apply)*

standard is out of date ❑
standard is incomplete ❑
standard is too academic ❑
standard is too superficial ❑
title is misleading ❑
I made the wrong choice ❑
other .....

Q7 Please assess the standard in the following categories, using the numbers:
(1) unacceptable,
(2) below average,
(3) average,
(4) above average,
(5) exceptional,
(6) not applicable

timeliness.....
quality of writing.....
technical contents.....
logic of arrangement of contents .....
tables, charts, graphs, figures.....
other .....

Q8 I read/use the: *(tick one)*

French text only ❑
English text only ❑
both English and French texts ❑

Q9 Please share any comment on any aspect of the IEC that you would like us to know:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

--`,,,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS

Not for Resale

Enquête sur les normes

La CEI ambitionne de vous offrir les meilleures normes possibles. Pour nous assurer que nous continuons à répondre à votre attente, nous avons besoin de quelques renseignements de votre part. Nous vous demandons simplement de consacrer un instant pour répondre au questionnaire ci-après et de nous le retourner par fax au +41 22 919 03 00 ou par courrier à l'adresse ci-dessous. Merci !

Centre du Service Clientèle (CSC)

Commission Electrotechnique Internationale
3, rue de Varembé
1211 Genève 20
Suisse

ou

Télécopie: **CEI**/CSC +41 22 919 03 00

Nous vous remercions de la contribution que vous voudrez bien apporter ainsi à la Normalisation Internationale.

Nicht frankieren
Ne pas affranchir

Non affrancare
No stamp required

A Prioritaire

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Centre du Service Clientèle (CSC)
Commission Electrotechnique Internationale
3, rue de Varembé
1211 GENÈVE 20
Suisse

--`,,,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS

Not for Resale

Q1 Veuillez ne mentionner qu'**UNE SEULE NORME** et indiquer son numéro exact: (*ex. 60601-1-1)*

.....

Q2 En tant qu'acheteur de cette norme, quelle est votre fonction?
(cochez tout ce qui convient)
Je suis le/un:

agent d'un service d'achat ❑
bibliothécaire ❑
chercheur ❑
ingénieur concepteur ❑
ingénieur sécurité ❑
ingénieur d'essais ❑
spécialiste en marketing ❑
autre(s).....

Q3 Je travaille:
(cochez tout ce qui convient)

dans l'industrie ❑
comme consultant ❑
pour un gouvernement ❑
pour un organisme d'essais/ certification ❑
dans un service public ❑
dans l'enseignement ❑
comme militaire ❑
autre(s).....

Q4 Cette norme sera utilisée pour/comme
(cochez tout ce qui convient)

ouvrage de référence ❑
une recherche de produit ❑
une étude/développement de produit ❑
des spécifications ❑
des soumissions ❑
une évaluation de la qualité ❑
une certification ❑
une documentation technique ❑
une thèse ❑
la fabrication ❑
autre(s).....

Q5 Cette norme répond-elle à vos besoins:
(une seule réponse)

pas du tout ❑
à peu près ❑
assez bien ❑
parfaitement ❑

Q6 Si vous avez répondu PAS DU TOUT à Q5, c'est pour la/les raison(s) suivantes:
(cochez tout ce qui convient)

la norme a besoin d'être révisée ❑
la norme est incomplète ❑
la norme est trop théorique ❑
la norme est trop superficielle ❑
le titre est équivoque ❑
je n'ai pas fait le bon choix ❑
autre(s) .....

Q7 Veuillez évaluer chacun des critères ci-dessous en utilisant les chiffres
(1) inacceptable,
(2) au-dessous de la moyenne,
(3) moyen,
(4) au-dessus de la moyenne,
(5) exceptionnel,
(6) sans objet

publication en temps opportun .....
qualité de la rédaction.....
contenu technique .....
disposition logique du contenu .....
tableaux, diagrammes, graphiques, figures.....
autre(s) .....

Q8 Je lis/utilise: *(une seule réponse)*

uniquement le texte français ❑
uniquement le texte anglais ❑
les textes anglais et français ❑

Q9 Veuillez nous faire part de vos observations éventuelles sur la CEI:

.....
.....
.....
.....
.....
.....



--`,,,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS

Not for Resale

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

ISBN 2-8318-7662-1



ICS 29.080.30

Typeset and printed by the IEC Central Office
GENEVA, SWITZERLAND

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS

Not for Resale