

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC
61278**

Première édition
First edition
1997-01

**Travaux sous tension –
Guide pour les essais diélectriques
des outils et équipements**

**Live working –
Guidelines for dielectric testing
of tools and equipment**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61278: 1997

Validité de la présente publication

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

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles auprès du Bureau Central de la CEI.

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

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit tirés du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

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

- la CEI 27: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*;
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*;
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas*;

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale*.

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

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

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

Validity of this publication

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

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available from the IEC Central Office.

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

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

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

Graphical and letter symbols

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

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology*;
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets*;
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams*;

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice*.

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

IEC publications prepared by the same technical committee

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

RAPPORT TECHNIQUE – TYPE 2

**CEI
IEC**

TECHNICAL REPORT – TYPE 2

61278

Première édition
First edition
1997-01

**Travaux sous tension –
Guide pour les essais diélectriques
des outils et équipements**

**Live working –
Guidelines for dielectric testing
of tools and equipment**

© IEC 1997 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
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

N

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
Articles	
1 Domaine d'application	8
2 Références normatives.....	8
3 Milieux isolants fondamentaux	8
4 Utilisation d'un système isolant	10
5 Evaluation de la forme de l'électrode	10
6 Equivalence des contraintes d'essai de tension	10
7 Principes généraux régissant les essais diélectriques	12
8 Précision des essais pour la classification des matériaux ou des équipements	14
9 Domaine des références	16
10 Application du guide pour les procédures d'essais	20
Annexe A – Bibliographie	28

CONTENTS

	Page
FOREWORD.....	5
Clause	
1 Scope	9
2 Normative references.....	9
3 Type of insulation system	9
4 Use of insulation system.....	11
5 Evaluation of the electrode shape	11
6 Equivalence of test voltage stresses.....	11
7 General principles of dielectric testing.....	13
8 Accuracy for the classification of materials or equipment.....	15
9 Scope of references.....	17
10 Application of guidelines for test procedures.....	21
Annex A– Bibliography	29

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRAVAUX SOUS TENSION – GUIDE POUR LES ESSAIS DIÉLECTRIQUES DES OUTILS ET ÉQUIPEMENTS

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes Internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques, représentent, dans la mesure du possible un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes Internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale 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 tâche principale des comités d'études de la CEI est d'élaborer des Normes internationales. Exceptionnellement, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique de l'un des types suivants:

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

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

La CEI 1278, rapport technique de type 2, a été établie par le comité d'études 78 de la CEI: Travaux sous tension.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**LIVE WORKING –
GUIDELINES FOR DIELECTRIC TESTING
OF TOOLS AND EQUIPMENT**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

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

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

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

IEC 1278, which is a technical report of type 2, has been prepared by IEC technical committee 78: Live working.

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

Projet de comité	Rapport de vote
78(SEC)131	78(SEC)154

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

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

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

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

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

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

Committee draft	Report on voting
78(SEC)131	78(SEC)154

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

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

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

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

Annex A is for information only.

TRAVAUX SOUS TENSION – GUIDE POUR LES ESSAIS DIÉLECTRIQUES DES OUTILS ET ÉQUIPEMENTS

1 Domaine d'application

Ce guide a pour objet de définir les paramètres à utiliser dans la préparation des normes relatives aux outils et équipements utilisés dans les travaux sous tension.

2 Références normatives

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

CEI 50(151): 1978, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 151: Dispositifs électriques et magnétiques*

CEI 60-1: 1989, *Techniques des essais à haute tension – Première partie: Définitions et prescriptions générales relatives aux essais*

CEI 93: 1980, *Méthodes pour la mesure de la résistivité transversale et de la résistivité superficielle des matériaux isolants électriques solides*

CEI 112: 1979, *Méthode pour déterminer les indices de résistance et de tenue au cheminement des matériaux solides dans des conditions humides*

CEI 156: 1995, *Isolants liquides – Détermination de la tension de claquage à fréquence industrielle – Méthode d'essai*

CEI 243-1: 1988, *Méthodes d'essai pour la détermination de la rigidité diélectrique des matériaux isolants solides – Partie 1: Mesures aux fréquences industrielles*

CEI 243-2: 1990, *Méthodes d'essai pour la détermination de la rigidité diélectrique des matériaux isolants solides – Partie 2: Prescriptions complémentaires pour la mesure à tension continue*

CEI 243-3: 1993, *Méthodes d'essai pour la détermination de la rigidité diélectrique des matériaux isolants solides – Partie 3: Prescriptions complémentaires pour les essais de choc*

CEI 587: 1984, *Méthodes d'essai pour évaluer la résistance au cheminement et à l'érosion des matériaux isolants électriques utilisés dans des conditions ambiantes sévères*

3 Milieux isolants fondamentaux

L'environnement pour les outils et équipements utilisés dans les travaux sous tension peut être divisé en quatre catégories en fonction des isolants de base:

- a) l'air: sec ou humide; l'altitude affecte la pression;
- b) les gaz: agressions par effet couronne;
- c) les liquides: eau, huile;
- d) les solides: matériaux organiques et inorganiques.

LIVE WORKING – GUIDELINES FOR DIELECTRIC TESTING OF TOOLS AND EQUIPMENT

1 Scope

This guide is intended to define the parameters to be used in the development of standards related to tools and equipment used in live working.

2 Normative references

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

IEC 50(151): 1978, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 151: Electrical and magnetic devices*

IEC 60-1: 1989, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

IEC 93: 1980, *Methods of test for volume resistivity and surface resistivity of solid electrical insulating materials*

IEC 112: 1979, *Method for determining the comparative and the proof tracking indices solid insulating materials under moist conditions*

IEC 156: 1995, *Insulating liquids – Determination of the breakdown voltage at power frequency – Test method*

IEC 243-1: 1988, *Methods of test for electric strength of solid insulating materials – Part 1: Tests at power frequencies*

IEC 243-2: 1990, *Methods of test for electric strength of solid insulating materials – Part 2: Additional requirements for tests using direct voltage*

IEC 243-3: 1993, *Methods of test for electric strength of solid insulating materials – Part 3: Additional requirements for impulse tests*

IEC 587: 1984, *Test methods for evaluating resistance to tracking and erosion of electrical insulating materials used under severe ambient conditions*

3 Type of insulation system

The environment for tools and equipment used in live working can be categorized under four types with regard to the basic insulation medium:

- a) air: may be dry or humid; altitude affects the pressure;
- b) gases: corona aggression;
- c) liquids: water, oil;
- d) solids: organic or inorganic materials.

Les ensembles des isolants de base qui doivent être retenus sont ceux principalement composés, tout ou partie, d'isolant de type d) ou de type a). La durée, le genre ou l'intensité de la contrainte diélectrique n'influencent pas grandement le comportement des matériaux inorganiques.

Les matériaux organiques sont surtout composés de structures moléculaires susceptibles de changer de comportement sous des contraintes électriques. L'application appropriée des facteurs qui les affectent tels que la température, la tension, la durée et l'humidité permettent d'obtenir des mesures précises caractérisant le degré de sécurité du système isolant.

4 Utilisation d'un système isolant

Les outils et les équipements utilisés dans les travaux sous tension ont des formes différentes par exemple tiges, tapis, gants et protège-bras. Les parties ou les éléments sous tension sur lesquels sont utilisés les outils ont aussi des configurations variées. Pour ces raisons, il est nécessaire que les caractéristiques électriques de l'agencement des isolants correspondent aux contraintes électriques imposées par les éléments sous tension.

Par exemple, le protecteur rigide utilisé sur les conducteurs sous tension est soumis essentiellement à deux genres de contraintes électriques:

- la perforation du matériel répartie sur toute sa longueur;
- la répartition de la tension sur tout ou partie de la surface à partir d'une valeur nulle jusqu'au maximum.

Par conséquent, il est nécessaire que les méthodes d'essais diélectriques permettent une évaluation sélective des paramètres du système d'isolement.

5 Evaluation de la forme de l'électrode

La forme des divers éléments des outils et équipements utilisés dans les travaux sous tension a une influence directe sur l'essai, en laboratoire ou sur les chantiers (essais de type ou essai individuel de série), destiné à évaluer la forme de l'électrode. La configuration de l'électrode affecte directement les caractéristiques de la tension d'essai. La forme des électrodes peut être celle d'une tige, d'un plan, etc.

Il convient que les électrodes utilisées pour un équipement spécifique soient définies avec précision quant à la forme et aux dimensions, y compris la finition des contours et des coins.

Il convient de reconnaître que, pour les évaluations électriques, la forme de l'électrode doit simuler l'ensemble des éléments sur lesquels elle est utilisée.

6 Equivalence des contraintes d'essai de tension

Les outils et équipements (outillage) tels que les tiges, les tapis, les couvre-conducteurs et protecteurs rigides sont sujets à des contraintes de tensions variées lorsqu'ils sont utilisés pour protéger le travailleur lors de travaux d'entretien sous tension. Sur le réseau à courant alternatif, l'équipement est soumis à une onde de tension sinusoïdale à courant alternatif en régime permanent, mais peut à l'occasion être sujet à des surtensions de formes variées, produites par les manoeuvres de réseau ou éventuellement par les coups de foudre. Sur les réseaux à courant continu, les expositions sont celles dues au courant continu.

L'outillage doit subir sans dommage les contraintes électriques maximales auxquelles il est soumis de façon à protéger les travailleurs. Des essais appropriés (de type ou individuels de série) doivent être développés afin de s'assurer que l'outillage peut tolérer les contraintes.

The fundamental systems to be evaluated are those primarily composed in whole or in part by type d) insulation or type a). The behaviour of inorganic materials is not greatly influenced by the duration, type or magnitude of electrical stress.

Organic materials are primarily composed of molecular structures that are susceptible to behaviour changes under electrical stress. The proper application of the stress factors such as temperature, voltage, time and humidity will ensure precise measurements which characterize the degree of safety of the insulating system.

4 Use of insulation system

The tools and equipment used in live working have various geometric shapes, such as rods, mats, gloves and sleeves. The energized parts or components that the tools are employed on also have different configurations. Thus, it is necessary to match the electrical behaviour pattern of the insulation with the electrical stress imposed by the energized components.

For example, hard cover-up used on energized conductors is essentially electrically stressed in two ways:

- punctures through the material distributed along the extended length;
- distribution of voltage stress on all or part of the surface from zero to a maximum value.

Thus, it is necessary that the dielectric testing method permits the discriminatory evaluation of the parameters of the insulation system.

5 Evaluation of the electrode shape

The shape of the different components of the tools and equipment used in live working during the performance of the work directly affects the laboratory and field testing of the shape of the electrodes (type vs. routine). The electrode configuration directly affects the voltage test characteristics. The electrode shape could be a rod type or a plane type, etc., depending on the form of the objects under evaluation.

The electrodes to be employed for a particular equipment should be precisely defined in shape and dimensions, including the rounding of edges and corners.

It should be recognized that the electrode shape for electrical evaluation shall simulate the system components on which it is used.

6 Equivalence of test voltage stresses

Tools and equipment (T & E), such as rods, blankets, line hoses and rigid covers can be subjected to various voltage stresses when used to protect workers during live line maintenance operations. On a.c. power systems, this equipment is usually exposed to steady state sinusoidal a.c. voltage, but may on occasion also experience surges of various waveshapes, produced by switching operations or possibly lightning strikes. On d.c. systems, the usual exposures are d.c. stresses.

The T & E shall withstand without failure all anticipated maximum electric stresses to which it will be subjected in service, in order to provide protection to the workers. Appropriate tests (type, routine) shall be developed to ascertain that the T & E can withstand these stresses.

Plusieurs séries importantes de données sont requises pour établir un choix approprié des critères d'essai. Une bonne compréhension des contraintes prévues durant l'utilisation de l'outillage est aussi nécessaire. Par exemple, si les travaux ne doivent pas se réaliser lorsqu'il y a de la foudre dans les alentours, l'étude du comportement de l'outillage sous les contraintes de coup de foudre peut ne pas être instructive ou importante. D'un autre côté, s'il est probable qu'un coup de foudre distant occasionne le déclenchement du disjoncteur, il peut être nécessaire de connaître l'effet des surtensions de manoeuvre qui se propagent jusqu'à l'aire de travail, et de préciser que l'outillage peut subir ces surtensions de manoeuvres prévues. L'ampleur et la forme de la surtension de manoeuvre sont établies par les caractéristiques du réseau, et leur intensité peut d'ailleurs être contrôlée (réduite) par d'autres moyens, tels que les éclateurs portables et la mise hors service des réenclencheurs.

Une connaissance précise des caractéristiques électriques de l'outillage est aussi nécessaire. Cette information, c'est-à-dire la tension de claquage ou la rigidité diélectrique de l'équipement, ne peut être obtenue que par des essais de laboratoires réels. Il est à noter que ces essais peuvent être destructifs. Dans le cas des nappes, la détermination de la tension de claquage ou de la rigidité diélectrique nécessite l'application d'une tension suffisante (contrainte) pour causer une perforation de la nappe. Par conséquent, les essais destructifs ne sont pas recommandés pour des usages généraux, et sont réalisés seulement sur une échelle réduite en laboratoire.

La rigidité diélectrique obtenue par de tels essais définit les possibilités maximales de l'outillage, c'est-à-dire établit la contrainte maximale que l'outillage peut subir sans dommages. Par conséquent, il convient que le niveau de tolérance de l'outillage soit établi sur la surtension maximale prévue et relié à la valeur critique d'amorçage précisée par des essais. Les références [2]*, [3] et [4] donnent des informations utiles sur ce sujet.

A titre indicatif, le niveau de surtension maximal prévu pour l'outillage de 69 kV et moins est de 3,0 p.u. phase-terre. De même, à partir de recherches en cours, le facteur de corrélation pour la tenue à fréquence industrielle, la tenue aux surtensions de manoeuvre, et la tenue en courant continu de l'outillage à 69 kV et moins peut être résumé ainsi:

a) Rapport de la surtension par rapport à la tenue à fréquence industrielle

Des travaux sont en cours pour préciser la caractéristique du rapport entre la surtension et la fréquence industrielle. Selon des informations disponibles, un tel rapport pour le matériel isolant flexible semble être de 1,3. Cependant, le rapport pour les protecteurs rigides est différent en raison de l'effet produit par les électrodes et peut varier entre 1,0 et 1,4. Jusqu'à ce que les essais soient terminés, aucun changement ne devra être apporté à la tension d'essai de tenue à la fréquence industrielle dans les normes existantes ou en préparation.

b) Rapport de la tension c.c./fréquence industrielle

Sur la base des résultats d'essais, le rapport maximal c.c./c.a. est plus grand que 1,0 et la valeur utilisée à présent est sujette à caution. Jusqu'à ce que les essais soient terminés et qu'un rapport caractéristique approprié soit établi, il est recommandé de ne pas mentionner dans les projets de normes la valeur équivalente en c.c. pour une tension assignée en c.a. de l'outillage.

7 Principes généraux régissant les essais diélectriques

Les essais diélectriques utilisés dans les normes des outils et équipements sont établis sur une combinaison des essais suivants.

Les deux essais effectués sur les outils pour travaux sous tension sont les suivants:

- a) **l'essai de type;**
- b) **l'essai individuel de série**, qui peut être par prélèvement ou de réception.

* Les chiffres entre crochets renvoient à l'annexe A, Bibliographie.

Several important sets of data are needed for proper selection of the test criteria. It is necessary to have a good understanding of the expected stresses that are likely to be present during the use of the T & E. That is, if live work is not to be conducted when lightning is in the vicinity, then it may not be important or instructive to study the performance of T & E under lightning-related stresses. On the other hand, if distant lightning is likely to cause breaker tripping, then it may be necessary to know the resulting transient overvoltages that may propagate to the work location, and it may be necessary to confirm that the equipment can indeed withstand these expected switching surges. The magnitude and the waveshapes of the transient overvoltages are determined by the system characteristics, and the magnitude may in addition be controlled (reduced) by other means such as temporary protective gaps, or blocking reclosures.

Thorough knowledge of the electrical characteristics of T & E is also necessary. This information, that is, the breakdown voltage or the dielectric strength of the equipment, can only be obtained by actual laboratory tests. It should be noted that these tests could be destructive in nature. In the case of blankets, the determination of the breakdown voltage or dielectric strength requires application of sufficient voltage (stress) to cause the blanket to fail (puncture). Therefore, the destructive tests are not recommended for general use, and are made only on limited scale in the laboratory.

The breakdown strength obtained from such tests defines the maximum capabilities of the equipment for the test stress, that is, it determines the maximum stresses that the T & E will withstand without failure. Therefore, T & E withstand levels should be based on the maximum anticipated switching overvoltage, and related to the critical flashover value determined by experiments. References [2]* [3] and [4] provide useful information on this subject.

As a guide, the maximum anticipated surge level for T & E rated up to 69 kV has been used as 3,0 p.u. for phase to earth. Also, based on ongoing research, the correlation factors for power frequency withstand, switching surge withstand, and d.c. withstand for T & E up to 69 kV can be summarized by the following:

a) *Switching surge/power frequency ratio*

Work is being continued to obtain a precise characteristic ratio for switching surge and power frequency. Based on available data, such a ratio for flexible insulated equipment appears to be 1,3. The ratio for rigid insulating covers, however, is different due to the effect of test electrodes, and it can range from 1,0 to 1,4. Until the testing is completed, no changes should be made to the power frequency withstand test voltages in existing or draft standards.

b) *DC/power frequency ratio*

Based on the test results, the d.c./a.c. peak ratio is greater than 1,0 and the presently used values may be questionable. Until the tests are finished and a characteristic ratio is determined, it is recommended that equivalent d.c. test voltages for a.c. rated T & E should not be given in the draft standards.

7 General principles of dielectric testing

The dielectric tests given in the standards of tools and equipment used are based on a combination of the following tests.

The two tests carried out on tools for live working are characterized as:

- a) **type test**; and
- b) **routine test**, which may be by sampling or acceptance.

* Figures in square brackets indicate a reference listed in annex A, Bibliography.

L'essai de type (conception) est effectué sur un ou plusieurs dispositifs d'une conception pour vérifier que la conception répond à certaines spécifications [VEI 151-04-15]. Il implique un nombre limité d'essais effectués dans des conditions de laboratoire pour vérifier les caractéristiques.

L'essai individuel de série est celui auquel est soumis chaque dispositif en cours ou en fin de fabrication pour vérifier qu'il satisfait à des critères définis [VEI 151-04-16]. Il est réalisé la plupart du temps pour le contrôle de la production, et sur tous les matériels de fabrication, ou sur les chantiers.

Les autres essais concernent le **prélèvement** et la **réception**.

L'essai sur prélèvement est celui effectué sur un certain nombre de dispositifs prélevés au hasard dans un lot [VEI 151-04-17].

L'essai de réception est un essai contractuel ayant pour objet de prouver au client que le dispositif répond à certaines conditions de sa spécification [VEI 151-04-20].

Il convient que les tensions d'essais soient reliées aux tensions de service des réseaux et des installations. Ces tensions peuvent être soit la tension nominale des réseaux, soit un multiple de celle-ci, soit une tension transitoire. En général, les sources de tension fréquence industrielle de 50 Hz ou 60 Hz sont retenues.

Les corrections de ces valeurs en fonction de l'altitude n'ont pas été données. Les valeurs données ici sont généralement acceptées pour les altitudes allant jusqu'à 1 000 m; pour les altitudes supérieures, il est recommandé de suivre les indications suivantes:

- la rigidité de l'intervalle d'éclatement dans l'air est réduite par l'altitude principalement en raison de la réduction de la pression d'air;
- une augmentation de 3 % de la distance pour chaque tranche de 300 m au-dessus de 1 000 m est recommandée.

8 Précision des essais pour la classification des matériaux ou des équipements

Pour les tensions nominales, les variations réelles de tension de service sont généralement évaluées à 10 %. Il convient de tenir compte de l'écart de tension pour établir avec précision la mesure recherchée.

La tension d'essai peut être exprimée en termes de :

- a) valeur proportionnelle;
- b) multiple de la tension nominale du réseau;
- c) tension assignée correspondante du matériel.

Lorsque la surtension atteint la valeur marginale par unité de 5, il est inutile de rechercher une grande précision dans les mesures. Lorsque ce coefficient est près de 1,0, une plus grande précision est essentielle. Dans ce cas, les exigences générales pour mesurer les tensions à courant alternatif sont les suivantes (voir référence [2]):

- mesurer la valeur efficace ou crête de la tension avec une précision minimale de 3 %;
- mesurer l'amplitude des harmoniques avec une erreur n'excédant pas la plus grande des deux valeurs suivantes: 10 % de l'amplitude des harmoniques ou 1 % de la fondamentale.

Pour la mesure du courant à travers les spécimens, plusieurs éléments distincts peuvent être identifiés qui diffèrent les uns des autres de plusieurs ordres de grandeur pour le même spécimen et la même tension d'essai. Les courants obtenus dans l'évaluation des outils et équipements pour travaux sous tension peuvent différer et être caractérisés ainsi:

Type test (design) is performed on one or more devices made to a certain design to show that the design meets certain specifications [IEV 151-04-15]. Type testing involves a number of tests made under laboratory conditions to verify characteristics.

Routine test is one applied to each device during or after manufacture to ascertain whether it complies with certain criteria [IEV 151-04-16]. Routine testing is most often performed for production control, and on all the material(s) manufactured, or in the field.

Other tests involved are **sampling** and **acceptance** tests.

Sampling test is performed on a number of devices taken at random from a batch [IEV 151-04-17].

Acceptance test is a contractual test to prove to the customer that the device meets certain conditions of its specification [IEV 151-04-20].

The voltage tests should be associated with the operating voltages of the systems and the plants. These voltages could be the nominal system voltage, a multiple of this voltage, or the presence of transient. In general, power frequency voltage sources of 50 Hz and 60 Hz are chosen.

The correction of the determined values for altitude has not been indicated. The values presently given are accepted throughout for altitudes up to 1 000 m; for higher altitudes the following guidance is provided:

- the electric strength of an air gap is reduced at high altitude, principally due to the reduced air pressure
- an increase of 3 % in the clearance for every 300 m above 1 000 m is recommended.

8 Accuracy for the classification of materials or equipment

For nominal voltage(s), the effective voltage deviations are generally estimated to 10 %. The voltage spread should be taken into account to define the precision of the expected measurements.

The test voltage is expressed in terms of:

- a) a prorated value;
- b) a multiple of the nominal system voltage; or
- c) rated voltage of the material.

When the overvoltage reaches the test per unit margin value of 5, it is useless to require a high accuracy of the measurements. When this test margin is near 1,0, a higher accuracy is essential. In this case, the general requirements for measuring a.c. voltages are (see reference [2]):

- measure r.m.s. or crest value of voltage with accuracy of not less than 3 %;
- measure the amplitude of harmonics with an error not exceeding the highest of the following two values: 10 % of the amplitude of harmonics, or 1 % of the primary wave.

For current measurement through the test object, a number of separate components of the current may be recognized, which differ from each other by several orders of magnitude for the same test object and test voltage. Currents encountered in the evaluation of live working tools and equipment may differ and can be characterized as:

- a) capacitif;
- b) courant de fuite continu;
- c) décharge partielle.

La grandeur relative et l'importance de chaque élément dépendent du genre et de la condition du spécimen, du but de l'essai et de la durée de l'essai. Par conséquent, la mesure est spécifiée pour chaque genre d'outil et d'équipement.

9 Domaine des références

Il existe de nombreux documents qui traitent des essais diélectriques. Plusieurs de ces publications ont des objets ou des domaines d'activités reliés à l'un ou l'autre des points énumérés ci-dessus.

Une liste de ces publications ainsi qu'un résumé et des commentaires sur la manière d'interpréter la spécification sur la durée, la rapidité de montée en tension, la technique d'application et le milieu d'utilisation sont fournis ci-après:

Publications de la CEI:

CEI 60-1: 1989, *Techniques des essais à haute tension – Partie 1: Définitions et prescriptions générales relatives aux essais*

Cette norme s'applique aux essais diélectriques à courant continu, aux essais diélectriques à tension alternative aux essais diélectriques avec des surtensions et des surcourants, et aux essais combinés de ceux-ci.

CEI 93: 1980, *Méthodes pour la mesure de la résistivité transversale et de la résistivité superficielle des matériaux isolants électriques solides*

Cette norme fournit les méthodes d'essais et de calculs pour établir la résistivité transversale et la résistivité superficielle. Elle établit des recommandations pour les valeurs de tension et la durée d'application, la nature et la géométrie des électrodes, la température et l'humidité du milieu ambiant et des éprouvettes, le conditionnement des éprouvettes.

CEI 112: 1979, *Méthode pour déterminer les indices de résistance et de tenue au cheminement des matériaux isolants solides dans des conditions humides*

Cette norme décrit une méthode d'essai permettant de connaître la résistance relative des matériaux isolants électriques solides au cheminement pour les tensions de 600 V et moins lorsqu'ils sont exposés, sous contrainte électrique, à l'humidité, avec addition de polluants à leur surface. Elle a la valeur d'une publication fondamentale de sécurité selon le *Guide 104 de la CEI*.

CEI 156: 1995, *Isolants liquides – Détermination de la tension de claquage à fréquence industrielle – Méthode d'essai*

Cette norme décrit une procédure empirique d'essai permettant de déterminer la présence de polluants tels que l'eau et les substances solides en suspension, et l'opportunité de réaliser des traitements par séchage et par filtrage. Des procédures d'essais normalisées sont essentielles pour l'interprétation sans équivoque des résultats d'essais.

CEI 243-1: 1988, *Méthodes d'essais pour la détermination de la rigidité diélectrique des matériaux isolants solides – Partie 1: Mesures aux fréquences industrielles*

Cette norme fournit des méthodes d'essais pour déterminer la rigidité diélectrique de courte durée pour les matériaux isolants solides aux fréquences industrielles (48 Hz à 60 Hz).

- a) capacitive;
- b) continuous leakage;
- c) partial discharge.

The relative magnitude and the importance of each component depend on the type and the condition of the test object, the purpose for which the test is being made, and the duration of the test. Accordingly, the measurements are specified for the kind of tool and equipment.

9 Scope of references

There are numerous documents that cover dielectric testing. Many of the publications have purposes or scopes related to some of the points enumerated above.

Listed are some of these publications, together with a description of the contents of the publication and short comments as how they view specification of duration, voltage rate or rise, application technique and use environment. They are:

IEC publications:

IEC 60-1: 1989, *High voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

This standard is applicable for dielectric tests with direct voltage; dielectric tests with alternating voltage; dielectric tests with impulse voltage and impulse current; and tests with combinations of these.

IEC 93: 1980, *Methods of test for volume resistivity and surface resistivity of solid electrical insulating materials*

This standard gives test procedures and calculations for the determination of volume and surface resistivity. It establishes recommendations for: values of voltage and time application; nature and geometry of electrodes; temperature and humidity of atmosphere and test specimens; conditioning of test specimens.

IEC 112: 1979, *Method for determining the comparative and the proof tracking indices of solid insulating materials under moist conditions*

This standard describes a method of test intended to indicate the relative resistance of solid electrical insulating materials to tracking for voltages up to 600 V when exposed under electric stress to water with the addition of contaminants on the surface. It has the value of a basic safety publication in accordance with *IEC Guide 104*.

IEC 156: 1995, *Insulating liquids – Determination of the breakdown voltage at power frequency – Test method*

This standard describes an empirical test procedure intended to indicate the presence of contaminants such as water and solid suspended matter, and the advisability of carrying out drying and filtration treatment. Standardized testing procedures and equipment are essential for the unambiguous interpretation of test results.

IEC 243-1: 1988, *Methods of test for electric strength of solid insulating materials – Part 1: Tests at power frequencies*

This standard gives methods of test for the determination of the short-time electric strength of solid insulating materials at power frequencies (48 Hz to 62 Hz).

CEI 243-2: 1990, Méthodes d'essais pour la détermination de la rigidité diélectrique des matériaux isolants solides – Partie 2: Prescriptions complémentaires pour la mesure à tension continue

Cette norme fournit les prescriptions complémentaires à la CEI 243-1 pour établir la rigidité diélectrique des matériaux solides isolants sous les contraintes de tension continue.

CEI 243-3: 1990, Méthodes d'essai pour la détermination de la rigidité diélectrique des matériaux isolants solides – Partie 3: Prescriptions complémentaires pour les essais de choc

Cette norme établit les prescriptions, complémentaires à la CEI 243-1, pour déterminer la rigidité diélectrique des matériaux isolants solides exposés aux tensions de chocs.

CEI 587: 1984, Méthodes d'essai pour évaluer la résistance au cheminement et à l'érosion des matériaux isolants électriques utilisés dans des conditions ambiantes sévères

Cette norme décrit deux méthodes d'essais (essai à tension constante et essai par paliers de tension) pour l'évaluation de matériaux électriques isolants utilisés dans conditions ambiantes sévères et aux fréquences industrielles (48 Hz et 62 Hz) par la mesure de la résistance au cheminement et à l'érosion. La norme a le statut de publication fondamentale de sécurité selon le *Guide 104 de la CEI*.

Autres publications

ASTM D 149-88: Méthode normalisée d'essai de tension d'amorçage et de la rigidité diélectrique d'un matériau isolant solide à la fréquence industrielle

Cette méthode fournit la procédure pour établir les caractéristiques de matériaux isolants à diverses températures et dans un milieu liquide ou gazeux adéquat. La méthode est ordinairement utilisée pour déterminer la tension d'amorçage électrique à travers un échantillon (perforation). Dans la méthode A : **Essai de courte durée**, la tension est montée à partir de zéro, avec une vitesse établie à l'avance, jusqu'à ce qu'il se produise un amorçage. Cet **Essai de courte durée** est utilisé sauf prescription contraire. Dans la méthode B, **Méthode par paliers**, la tension préférentielle est appliquée aux électrodes d'essai, puis elle est augmentée par paliers, d'une durée prédéterminée jusqu'à ce qu'il y ait un amorçage. Dans la méthode C : **Essai en montée lente**, la tension de départ est appliquée aux électrodes d'essai puis elle est augmentée à une vitesse prédéterminée jusqu'à ce qu'il se produise un amorçage.

ASTM D 877-87: Méthode d'essai normalisée pour la tension d'amorçage d'un liquide isolant utilisant les électrodes à disques

Cette méthode fournit une procédure d'arbitrage et une procédure d'essai individuel de série pour déterminer la tension d'amorçage dans un liquide isolant. La tension d'amorçage d'un liquide isolant est importante puisqu'elle mesure la disposition d'un liquide à supporter les contraintes électriques sans défaut. Elle sert à indiquer la présence d'agents contaminants qui abaissent la valeur d'amorçage électrique.

La procédure consiste à trouver le niveau de tension d'amorçage d'un liquide.

ASTM D 1816-84a: Méthode d'essai normalisée pour la tension d'amorçage d'huiles isolantes à base de pétrole utilisant les électrodes VDE

Cette méthode fournit le moyen de déterminer la tension d'amorçage d'une huile isolante à base de pétrole. La procédure utilise la tension en montée, qui consiste à appliquer une tension et à l'augmenter à partir de zéro, à une vitesse de 500 V/s environ jusqu'à ce que la décharge se produise.

IEC 243-2: 1990, *Methods of test for electric strength of solid insulating materials – Part 2: Additional requirements for tests using direct voltage*

This publication gives requirements additional to those in IEC 243-1 for the determination of the electric strength of solid insulating materials under direct voltage stress.

IEC 243-3: 1993, *Methods of test for electric strength of solid insulating materials – Part 3: Additional requirements for impulse tests*

This standard gives requirements, additional to those in IEC 243-1, for the determination of the electric strength of solid insulating materials under impulse voltage stress.

IEC 587: 1984, *Test methods for evaluating resistance to tracking and erosion of electrical insulating materials used under severe ambient conditions*

This standard describes two test methods (constant tracking voltage and stepwise tracking voltage) for the evaluation of electrical insulating materials for use under severe ambient conditions and power frequencies (48 Hz to 62 Hz) by measurement of the resistance to tracking and erosion. The publication has the status of a basic safety publication in accordance with *IEC Guide 104*.

Other publications:

ASTM D 149-88: *Standard test method for dielectric breakdown voltage and dielectric strength of solid electrical insulating materials at commercial power frequencies*

The method covers a procedure for determination of solid insulating materials at various temperatures, and in any suitable gaseous or liquid surrounding medium. The method is most commonly used to determine the dielectric breakdown voltage through the thickness of a test specimen (puncture). In Method A, **Short-time test**, the voltage is increased from zero at a rate determined in advance until breakdown occurs. This **Short-time test** is used unless otherwise specified. In Method B, **Step-by-step method**, the voltage is applied to the test electrodes at the preferred starting voltage and in steps and duration predetermined until breakdown occurs. In Method C, **Slow rate-of-rise test**, the voltage is applied to the test electrodes, from the starting voltage and increased at the rate predetermined, until breakdown occurs.

ASTM D 877-87: *Standard test method for dielectric breakdown voltage of insulating liquids using disk electrodes*

This test method covers a reference and a routine procedure for determining the dielectric breakdown voltage of insulating liquids. The dielectric breakdown voltage of an insulating liquid is of importance as a measure ability of the liquid to withstand dielectric stress without failure. It serves to indicate the presence of contaminating agents giving low dielectric breakdown values.

The procedure consists in finding the dielectric breakdown voltage level of a liquid.

ASTM D 1816-84a: *Standard test method for dielectric breakdown voltage of insulating oils of petroleum origin using VDE electrodes*

This test method covers the determination of the dielectric breakdown voltage of insulating oils of petroleum origin. The procedure uses the rate of rise of voltage, which consists in applying the voltage and increasing from zero at the rate of approximately 500 V/s until breakdown occurs.

IEEE, Norme 4–1995: *Techniques normalisées pour les essais à haute tension*

Cette publication s'applique aux essais diélectriques à courant continu, aux essais à courant alternatif, aux essais aux surtensions et aux surcourants, et à la combinaison de ces essais.

10 Application du guide pour les procédures d'essais

Un grand nombre de publications traitent de tous les aspects des essais à haute tension. Les principales publications de la CEI sont:

- la CEI 60-1;
- la CEI 243-1;
- la CEI 243-2;
- la CEI 243-3.

Une série complète et récente de publications ont aussi été émises par ASTM ayant pour titre «Engineering dielectrics». L'objet de la série englobe les différents aspects pratiques et théoriques des matériaux diélectriques convenant au domaine électrique:

- ASTM STP 669 : *Mesure de l'effet couronne et son interprétation*
- ASTM STP 783 : *Propriétés électriques des isolants solides, structure moléculaire et comportement électrique*
- ASTM STP 926 : *Propriétés électriques des isolants solides : Techniques de mesure*

Il est bien connu que la tenue diélectrique d'un matériau isolant diminue avec l'augmentation de la température. Les petites variations de la température ambiante n'auront pas beaucoup d'effet. S'il advient qu'un matériau soit assujéti à des températures bien différentes de la température ambiante, alors la rigidité diélectrique devra être établie en fonction de la température. La variation de la valeur dépendra de la nature des matériaux.

La tension de claquage dans l'air dépend des conditions atmosphériques: température (t), pression (p) et humidité absolue (h). La tension de claquage mesurée U , obtenue à une condition particulière (t, p, h) peut être ramenée à des conditions normalisées $t_0 = 273 \text{ °C}$, $p_0 = 101,3 \text{ kPa}$ et $h_0 = 11 \text{ g/cm}^3$ avec deux facteurs de corrections atmosphériques (voir CEI 60-1)

- le facteur de correction de densité de l'air k_1 ;
- le facteur de correction de l'humidité k_2 .

La tension de claquage corrigée U_0 aux conditions atmosphériques normalisées est calculée de la façon suivante:

$$U_0 = U / K_t$$

$$\text{où } K_t = k_1 \times k_2$$

Le facteur de correction de la densité de l'air k_1 dépend de la densité relative de l'air δ :

$$k_1 = \delta^m$$

où

$$\delta = \frac{p(273 + t_0)}{p_0(273 + t)}$$

m est un exposant obtenu de la figure 4 de la CEI 60-1.

IEEE Std 4-1995: *IEEE Standard techniques for high-voltage testing*

This standard is applied to dielectric tests with direct voltage; dielectric tests with alternating voltage; dielectric tests with impulse voltage and impulse current; and tests with combinations of these.

10 Application of guidelines for test procedures

A number of publications have been prepared that discuss all aspects of HV testing. The most important IEC publications are:

- IEC 60-1;
- IEC 243-1;
- IEC 243-2;
- IEC 243-3.

A recent and complete series has also been issued by ASTM with the title of "Engineering dielectrics". The subject matter of this series encompasses various practical and theoretical facets of dielectric materials suitable for electrical purposes. They are:

- ASTM STP 669: *Corona measurement and interpretation*
- ASTM STP 783: *Electrical properties of solid insulating materials, molecular structure and electrical behaviour*
- ASTM STP 926: *Electrical properties of solid insulating materials: Measurement techniques*

It is well known that the dielectric strength of an insulating material will decrease as temperature increases. Small variations in the ambient temperature are of little consequence. Should a given material be stressed by temperatures very different from room temperature, then the breakdown strength should be determined as a function of temperature. The variation in magnitude will depend upon the nature of the materials.

The breakdown voltage in air depends on the atmospheric conditions: temperature (t), pressure (p), and absolute humidity (h). The measured breakdown voltage U obtained at a particular set of conditions (t, p, h) can be related back to the standard conditions $t_0 = 273^\circ\text{C}$, $p_0 = 101,3 \text{ kPa}$, and $h_0 = 11 \text{ g/m}^3$ by two atmospheric correction factors, see IEC 60-1:

- the air density correction factor k_1 ;
- the humidity correction factor k_2 ;

The corrected breakdown voltage U_0 at standard atmospheric conditions is calculated as:

$$U_0 = U / K_t$$

where $K_t = k_1 \times k_2$

The air density correction factor k_1 depends on the relative air density δ :

$$k_1 = \delta^m$$

where

$$\delta = \frac{p(273 + t_0)}{p_0(273 + t)}$$

m is an exponent obtained from figure 4 in IEC 60-1.

Le facteur de correction d'humidité k_2 est exprimé ainsi:

$$k_2 = k^w$$

où

w est un exposant obtenu de la figure 4 de la CEI 60-1;

k est un paramètre qui dépend de la nature de la tension d'essai, de la longueur de l'entrefer et de sa configuration. Sa valeur est déterminée en utilisant la procédure décrite dans la CEI 60-1.

La combinaison de température et de pression de l'air qui donne la plus faible tension de claquage de l'éclateur est une haute température et une basse pression. Ces conditions atmosphériques sont peu susceptibles de se produire simultanément. La basse pression de l'air est généralement associée avec une forte humidité. Par conséquent, les conditions de travail par temps chaud et sec sont normalement associées avec une tenue électrique moindre.

Lors des essais de tenue individuels de série sur les matériaux isolants électriques solides ou liquides, il ne faut pas perdre de vue que les matériaux commercialement disponibles ont une tendance à ne pas être homogènes et peuvent contenir diverses imperfections diélectriques. L'amorçage se produit normalement à l'endroit d'un défaut pouvant être situé loin du lieu où les contraintes diélectriques sont maximales et éloigné de l'aire située directement au-dessous ou à côté de l'électrode d'essai. Ce sont de tels endroits faibles dans un milieu diélectrique qui détermineront la valeur de la rigidité diélectrique. L'épaisseur doit être bien évaluée puisque la tenue diélectrique (kV/m) d'un matériau isolant solide diminue généralement avec l'augmentation de l'épaisseur de l'échantillon. Pour des matériaux plus homogènes, cette diminution varie approximativement avec l'inverse de la racine carrée de l'épaisseur, bien que dans le cas des liquides en phase de solidification, l'influence exacte de l'épaisseur soit moins bien définie. Il devient donc évident que la valeur de la rigidité diélectrique donnée sans mentionner l'épaisseur de l'échantillon est sans signification. Dans le cas des outils et équipement utilisés dans les travaux sous tension, il convient que la valeur minimale requise de la rigidité électrique soit spécifiée quelle que soit son épaisseur.

La valeur de la tenue en courant alternatif obtenue est aussi fonction de la rapidité de montée de la tension. En général, la valeur de la tenue en courant alternatif montre une augmentation avec l'augmentation du taux de montée de la tension appliquée. Ceci bien souvent parce que les mécanismes de déclenchement réglés thermiquement et les processus de dégradation par l'effet couronne disposent de moins de temps pour provoquer des instabilités. La rigidité aux chocs augmente généralement avec le temps de montée de l'onde de choc.

Dans l'essai de claquage en courant alternatif, la tension est appliquée sur l'échantillon, soit avec une augmentation, soit en montée par paliers jusqu'à ce qu'un défaut se produise sur l'échantillon. Pour une application progressive de la tension, une distinction s'impose selon que la tension est appliquée avec une montée relativement rapide (**essai de courte durée**) ou une montée plus lente (**essai en montée lente**). Pour l'essai de courte durée, une montée de 500 V/s est normalement utilisée, qui stipule de plus qu'un amorçage rapide doit survenir entre 10 s à 20 s après l'application de la tension. En partie, cette prescription vise à ce que l'échantillon ne subisse pas de vieillissement indu suite à des contraintes de tension excessives avant le claquage.

En conséquence, pour certains matériaux, la plus grande valeur assignée de 500 V/s peut être utilisée.

Pour un **essai en montée lente**, le taux de progression maximale de la tension acceptable est de 100 V/s. Cette méthode d'application diffère d'une autre façon de l'**essai de courte durée**. Au lieu de débiter l'essai à la tension zéro, une tension V_s est appliquée soudainement à travers l'échantillon avant de procéder à une augmentation constante de la tension (voir figure 1a). La valeur de V_s est fixée à environ 50 % de la tension d'amorçage V_{bd} , établie lors d'un **essai de courte durée** préliminaire.

The humidity correction factor k_2 is expressed as:

$$k_2 = k^w$$

where

w is an exponent obtained from figure 4 in IEC 60-1; and

k is a parameter that depends on the type of test voltage, length of the gap, and gap configuration. Its value is determined using the procedure described in IEC 60-1.

The combination of temperature and air pressure that gives the lowest gap breakdown voltage is high temperature and low pressure. These atmospheric conditions are very unlikely to occur simultaneously. Low air pressure is generally associated with high humidity. Therefore, hot and dry working conditions are normally associated with reduced dielectric strength.

In carrying out routine breakdown tests on solid or liquid electrical insulating materials, it should be borne in mind that commercially available materials tend to be non-homogeneous, and may contain various dielectric defects. Dielectric breakdown will normally occur at a defect site that may be located far from the area of maximum dielectric stress, and be remote as well from the area situated directly beneath or adjacent to the test electrode(s). Such weak sites within the dielectric bulk will thus determine the value of the dielectric strength. Thickness must be fully appreciated, since the dielectric strength (in kV/m) of solid insulating material(s) generally decreases with increasing specimen thickness. For homogeneous materials, this decrease varies approximately as the reciprocal of the square root of the thickness, though, in the case of solidifying liquids, the exact influence of thickness is less well defined. It is thus apparent that the dielectric strength value given without stating the specimen thickness is rather meaningless. In the case of tools and equipment used for live working, the required minimum dielectric strength should be specified regardless of its thickness.

The obtained a.c. breakdown strength is also a function of the rate of voltage application. In general, the a.c. breakdown voltage value exhibits an increase with increasing rate of voltage application, most often because both the time-dependent thermal breakdown mechanisms and the corona degradation processes have less time to give rise to instabilities. The impulse breakdown strength generally increases with the rise time of the impulse wave.

In a.c. breakdown tests, the voltage is applied across the specimen, either gradually or in a step-wise manner until breakdown of the specimen occurs. For gradual voltage application, a distinction is further made as to whether the voltage is applied at a relatively rapid rate (that is, a **short-time test**) or is raised more slowly (that is, a **slow rate-of-rise test**). For the **short-time test**, a rate of 500 V/s is normally used, which further stipulates that a short-time breakdown must take place between 10 s to 20 s following the application of voltage. This requirement, in part, ensures that the specimen is not unduly aged due to a voltage overstress before breakdown.

Accordingly, with some materials, the highest specified value of 500 V/s may have to be used.

For the **slow rate-of-rise test**, the maximum acceptable rate of voltage rise is 100 V/s. This method of application differs from the **short-time test** in another way. Instead of commencing the test at zero applied voltage, a voltage, V_s , is suddenly applied across the specimen before the specified gradual increase in voltage (see figure 1a). The value of V_s is set approximately to 50 % of the breakdown voltage V_{bd} determined in a preliminary **short-time test**.

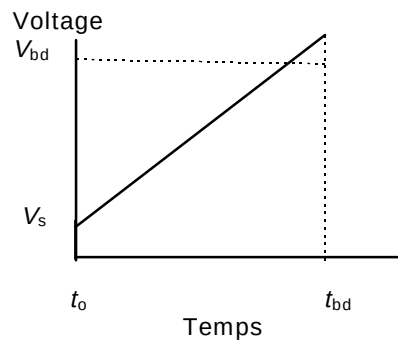


Figure 1a – Essai de courte durée

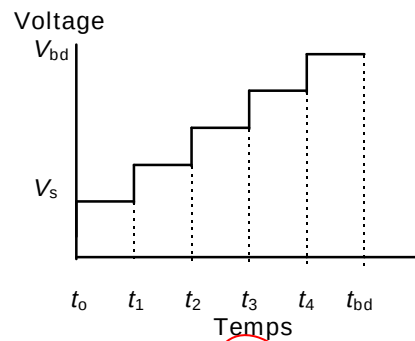


Figure 1b – Essai par paliers

Figure 1 – Profil de la tension

Pour l'**essai par paliers** (voir figure 1b), la valeur de tension initiale, ou palier initial, est généralement fixée à V_s . Lorsque l'**essai en montée lente** est utilisé, il est de coutume de choisir un taux de montée se rapprochant de la pente moyenne, ou taux de montée moyen, de la caractéristique par **paliers**.

Dans le cas où l'air constitue l'isolation principale, il est recommandé de spécifier la procédure d'essai. Un exemple de description de procédure d'essai acceptée est donné ci-dessous (voir 14.1 et 17.1 de la CEI 60-1):

Dans l'**essai de tenue à la tension assignée**, «On doit appliquer la tension à l'objet en essai à partir d'une valeur suffisamment basse pour éviter tout effet de surtensions dû aux phénomènes transitoires d'enclenchement (...) mais sans qu'il résulte (de la lenteur de croissance) une prolongation inutile de la contrainte sur l'objet en essai au voisinage de la valeur de la tension d'essai U . Ces spécifications sont généralement satisfaites lorsque la vitesse de montée au-dessus de 75 % est d'environ 2 % par seconde».

Dans les nombreux cas où cette tension reste inférieure ou égale à 100 kV, une pente de 1 kV/s peut alors être considérée comme compatible avec la recommandation ci-dessus.

Il est cependant plus simple dans les laboratoires de respecter une pente de tension constante, plutôt qu'un écart de temps pour atteindre la tension d'essai.

Pour des tensions supérieures à 100 kV, la durée de montée en tension ne devrait pas excéder 1 min, la pente étant ajustée en fonction des aménagements du laboratoire.

Pour l'essai de l'effet couronne destiné à déterminer le début visible de cet effet, il est recommandé d'effectuer l'essai de décharges partielles avant l'essai à courant alternatif. Dans l'essai réel, une tension à courant alternatif est augmentée suffisamment pour obtenir une réponse sur le détecteur de décharge partielle; cependant, la tension appliquée ne doit jamais dépasser la tension d'essai à courant alternatif. Par la suite, la tension est abaissée normalement à un taux supérieur à 2 000 V/s pour déterminer le niveau de disparition des décharges partielles.

Bien que des conditions d'essai bien définies ne soient pas nécessaires dans tous les cas pour assurer des conditions de travail sûres avec les outils et équipements, elles ne peuvent par contre pas être évitées puisque autrement les résultats d'essais ne peuvent être reproduits, et un dispositif ayant déjà passé l'essai avec succès dans le laboratoire pourrait flancher dans un autre ou vice-versa.

Une revue des références mentionnées et des autres normes, ainsi que l'expérience acquise par l'usage des normes déjà en vigueur, dans lesquelles le taux de montée et le niveau de tension ont été spécifiés, permet d'en arriver à la ligne de conduite générale suivante pour les documents relatifs aux outils et équipements:

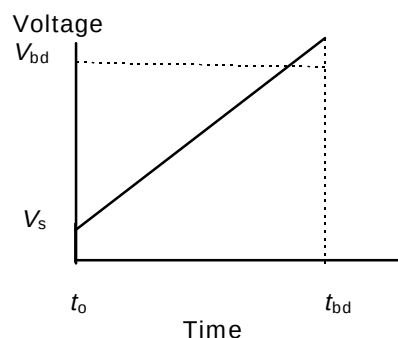


Figure 1a – Slow rate-of-rise test

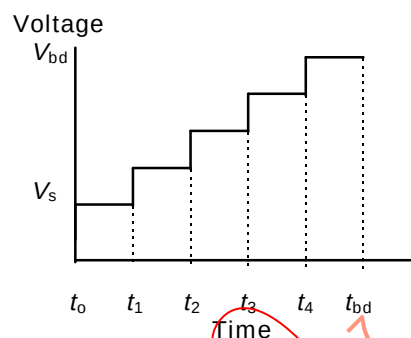


Figure 1b – Step-by-step test

Figure 1 – Voltage profile

In the **step-by-step test** (see figure 1b), the initial voltage value, or step, is usually set also at V_s . When using the **slow rate-of rise test**, it is customary to select a rate of rise that approximates the average slope, or rate, of the **step-by-step** characteristic.

In the case where air is the basic insulation, it is recommended to specify the test procedure. An example of an accepted test procedure description is given below (see 14.1 and 17.1 of IEC 60-1):

In the **rated withstand voltage test**, "The voltage shall be applied to the test object starting at a value sufficiently low to prevent any effect of overvoltages because of switching transients (...), but not so slowly as to cause unnecessary prolongation of the stressing of the test object near to the test voltage U . These requirements are in general met if the rate of rise is about 2 % of U (the puncture voltage) per second, when the applied voltage is above 75 % of U ."

In many cases where the voltage remains lower or equal to 100 kV, a slope of 1 kV/s is then considered compatible with the preceding recommendation.

Nevertheless, it is easier to maintain the slope of constant voltage in the laboratory, rather than a time lapse to reach the test voltage.

For voltages higher than 100 kV, the duration of the voltage rise should not exceed 1 min, the slope being adjusted according to the laboratory facilities.

For corona discharge test conducted to determine visual corona onset, it is recommended that a test using a partial discharge detector be made prior to the actual a.c. voltage test. In the actual test, an a.c. voltage is raised sufficiently to indicate detector response to partial discharge; however, the applied voltage in the partial discharge test must never exceed the alternating current test voltage. The voltage is subsequently lowered normally at a rate more than 2 000 V/s to determine the partial discharge extinction level

Although exactly defined test conditions might not in all cases be necessary to ensure safe working with a tool or equipment, they cannot be dispensed with, since otherwise test results are not reproducible, and a device which successfully passed the tests in the laboratory may fail in another and vice-versa.

A review of the cited references and other standards, together with the experience developed through the use of standards already promulgated, wherein a rate of rise and the voltage level were specified, indicates the following appropriate general guideline(s) for documents relating to tools and equipment:

Rigidité diélectrique d'un isolant solide ou gazeux (air) :

- 1 000 V/s pour les tensions allant jusqu'à 100 kV; et
- pour plus de 100 kV, une vitesse de montée inférieure à 1 min.

Pour des conditions particulières non traitées ici, une analyse plus poussée de la situation est requise.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TS 61278:1997

Dielectric strength of solid and gaseous (air) insulation:

- 1 000 V/s for voltages up to 100 kV; and
- for voltages above 100 kV, a voltage time rise of less than 1 min.

For special situations not covered in this report, a further review of test procedures is appropriate.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TS 61278:1997

Withdrawn

Annexe A (informative)

Bibliographie

- [1] CEI 60-2: 1994, *Techniques des essais à haute tension – Partie 2 : Systèmes de mesure*
- [2] CEI 71-1: 1993, *Coordination de l'isolement – Partie 1: Définitions, principes et règles*
- [3] CEI 71-2: 1976, *Coordination de l'isolement – Partie 2: Guide d'application*
- [4] CEI 71-3: 1982, *Coordination de l'isolement – Partie 3: Coordination de l'isolement entre phases – Principes, règles et guide d'application*

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TS 61278:1997