

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60664-1

Edition 1.1

2000-04

Edition 1:1992 consolidée par l'amendement 1:2000
Edition 1:1992 consolidated with amendment 1:2000

PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ
BASIC SAFETY PUBLICATION

**Coordination de l'isolement des matériels
dans les systèmes (réseaux) à basse tension –**

**Partie 1:
Principes, prescriptions et essais**

**Insulation coordination for equipment
within low-voltage systems –**

**Part 1:
Principles, requirements and tests**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60664-1:1992+A1:2000

Numéros des publications

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

Publications consolidées

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

Validité de la présente publication

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

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

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement
(Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

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

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

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

Numbering

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

Consolidated publications

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

Validity of this publication

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

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

Information on the 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 to be found at the following IEC sources:

- IEC web site*
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates
(On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

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

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

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60664-1

Edition 1.1

2000-04

Edition 1:1992 consolidée par l'amendement 1:2000
Edition 1:1992 consolidated with amendment 1:2000

PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ
BASIC SAFETY PUBLICATION

**Coordination de l'isolement des matériels
dans les systèmes (réseaux) à basse tension –**

**Partie 1:
Principes, prescriptions et essais**

**Insulation coordination for equipment
within low-voltage systems –**

**Part 1:
Principles, requirements and tests**

© IEC 2000 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
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	6
INTRODUCTION	10
Articles	
SECTION 1: GÉNÉRALITÉS ET DÉFINITIONS	
1.1 Domaine d'application	12
1.2 Références normatives.....	12
1.3 Définitions.....	16
SECTION 2: BASES DE LA COORDINATION DE L'ISOLEMENT	
2.1 Principes de base.....	26
2.2 Tensions et caractéristiques assignées de tension	30
2.3 Fréquence.....	36
2.4 Durée d'application de la contrainte de tension	36
2.5 Pollution.....	38
2.6 Information fournie avec le matériel.....	40
2.7 Matériau isolant.....	40
SECTION 3: PRESCRIPTIONS ET RÈGLES DE DIMENSIONNEMENT	
3.1 Dimensionnement des distances d'isolement.....	42
3.2 Dimensionnement des lignes de fuite.....	50
3.3 Prescriptions pour la conception de l'isolation solide	62
SECTION 4: ESSAIS ET MESURES	
4.1 Essais	72
4.2 Mesure des lignes de fuite et des distances d'isolement.....	92
Annexe A (informative) Données fondamentales des caractéristiques de tenue des distances d'isolement	
	102
Annexe B (informative) Tensions nominales des réseaux d'alimentation.....	
	112
Annexe C (informative) Méthodes d'essai de décharge partielle	
	116
Annexe D (informative) Informations complémentaires sur les méthodes d'essai de décharges partielles	
	126
Figure 1 – Détermination de lignes de fuite à partir de la tension et du degré de pollution pour le groupe de matériaux I.....	
	60
Figure 2 – Procédure de test	
	90
Figure A.1 – Tension de tenue à 2 000 m au-dessus du niveau de la mer	
	106
Figure A.2 – Valeurs expérimentales mesurées approximativement au niveau de la mer avec leurs limites inférieures pour les champs non homogènes.....	
	108
Figure A.3 – Valeurs expérimentales mesurées approximativement au niveau de la mer avec leurs limites inférieures pour les champs homogènes.....	
	110

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7
INTRODUCTION	11
SECTION 1: GENERAL AND DEFINITIONS	
1.1 Scope	13
1.2 Normative references	13
1.3 Definitions	17
SECTION 2: BASIS FOR INSULATION COORDINATION	
2.1 Basic principles	27
2.2 Voltages and voltage ratings	31
2.3 Frequency	37
2.4 Time under voltage stress	37
2.5 Pollution	39
2.6 Information supplied with the equipment	41
2.7 Insulating material	41
SECTION 3: REQUIREMENTS AND DIMENSIONING RULES	
3.1 Dimensioning of clearances	43
3.2 Dimensioning of creepage distances	51
3.3 Requirements for design of solid insulation	63
SECTION 4: TESTS AND MEASUREMENTS	
4.1 Tests	73
4.2 Measurement of creepage distances and clearances	93
Annex A (informative) Basic data on withstand characteristics of clearances	103
Annex B (informative) Nominal voltages of supply systems for different modes of overvoltage control	113
Annex C (informative) Partial discharge test methods	117
Annex D (informative) Additional information on partial discharge test methods	127
Figure 1 – Determination of creepage distances from voltage and pollution degree for material group I	61
Figure 2 – Test procedure	91
Figure A.1 – Withstand voltage at 2 000 m above sea level	107
Figure A.2 – Experimental data measured at approximately sea level and their low limits for inhomogeneous field	109
Figure A.3 – Experimental data measured at approximately sea level and their low limits for homogeneous field	111

Figure C.1 – Spécimen d'essai relié à la terre	116
Figure C.2 – Spécimen d'essai non relié à la terre.....	116
Figure C.3 – Etalonnage pour un spécimen relié à la terre	122
Figure C.4 – Etalonnage d'un spécimen non relié à la terre	124
Figure D.1 – Circuits d'essai de décharge partielle.....	126

Tableau 1 – Tension assignée de choc pour les matériels alimentés directement par le réseau.....	34
Tableau 2 – Distances d'isolement minimales pour la coordination de l'isolement.....	46
Tableau 3a – Réseaux monophasés 3 ou 2 fils c.a. ou c.c.....	54
Tableau 3b – Réseaux c.a. triphasés 4 ou 3 fils	56
Tableau 4 – Lignes de fuite minimales en millimètres pour les matériels soumis à des contraintes de longue durée.....	58
Tableau 5 – Tensions d'essai pour vérifier les distances dans l'air au niveau de la mer.....	74
Tableau 6 – Sévérités pour le conditionnement de l'isolation solide.....	84
Tableau A.1 – Tensions de tenue en kilovolts pour une altitude de 2 000 m au-dessus du niveau de la mer.....	102
Tableau A.2 – Facteurs de correction d'altitude	104
Tableau B.1 – Situation naturelle ou situation contrôlée équivalente	112
Tableau B.2 – Cas où une situation contrôlée est nécessaire et le contrôle est procuré par des parafoudres dont le rapport de la tension résiduelle à la tension assignée n'est pas inférieur à celui spécifié par la CEI 60099-1	114
Exemples 1 à 11	96 à 100

Figure C.1 – Earthed test specimen.....	117
Figure C.2 – Unearthed test specimen.....	117
Figure C.3 – Calibration for earthed test specimen.....	123
Figure C.4 – Calibration for unearthed test specimen	125
Figure D.1 – Partial discharge test circuits	127
Table 1 – Rated impulse voltage for equipment energized directly from the low-voltage mains.....	35
Table 2 – Minimum clearances for insulation coordination	47
Table 3a – Single-phase three or two-wire a.c. or d.c. systems	55
Table 3b – Three-phase four-or three-wire a.c. systems	57
Table 4 – Minimum creepage distances for equipment subject to long-term stresses.....	59
Table 5 – Test voltages for verifying clearances at sea level	75
Table 6 – Severities for conditioning of solid insulation.....	85
Tableau A.1 – Withstand voltages in kilovolts for an altitude of 2 000 m above sea level....	103
Table A.2 – Altitude correction factors.....	105
Table B.1 – Inherent control or equivalent protective control	113
Table B.2 – Cases where protective control is necessary and control is provided by surge arresters having a ratio of clamping voltage to rated voltage not smaller than that specified by IEC 60099-1.....	115
Examples 1 to 11	96 to 100

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

COORDINATION DE L'ISOLEMENT DES MATÉRIELS DANS LES SYSTÈMES (RÉSEAUX) À BASSE TENSION –

Partie 1: Principes, prescriptions et essais

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Électrotechnique 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, spécifications techniques, 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 présente partie de la Norme internationale CEI 60664 a été établie par le sous-comité 28A: Coordination de l'isolement pour le matériel à basse tension, du comité d'études 28 de la CEI: Coordination de l'isolement.

Elle a le statut de publication fondamentale de sécurité, conformément au Guide CEI 104.

La présente version consolidée de la CEI 60664-1 est issue de la première édition (1992) [documents 28A(BC)28+29+32+33 et 28A(BC)31+34+35+36] et de son amendement 1 (2000) [documents 28A/141/FDIS et 28A/146/RVD].

Elle porte le numéro d'édition 1.1.

Une ligne verticale dans la marge indique les textes modifiés par l'amendement 1.

Les annexes A à D sont données uniquement à titre d'information.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**INSULATION COORDINATION FOR EQUIPMENT
WITHIN LOW-VOLTAGE SYSTEMS –****Part 1: Principles, requirements and tests****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 specifications, 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.

This part of International Standard IEC 60664 has been prepared by Sub-Committee 28A: Insulation coordination for low-voltage equipment, of IEC Technical Committee 28: Insulation coordination.

It has the status of a basic safety publication in accordance with IEC Guide 104.

This consolidated version of IEC 60664-1 is based on the first edition (1992) [documents 28A(CO)28+29+32+33 and 28A(CO)31+34+35+36] and its amendment 1 (2000) [documents 28A/141/FDIS and 28A/146/RVD].

It bears the edition number 1.1.

A vertical line in the margin shows where the base publication has been modified by amendment 1.

Annexes A to D are for information only.

La CEI 60664 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension*:

Partie 1: 1992, Principes, prescriptions et essais.

Partie 2-1: 1997, Guide d'application – Feuilles de dimensionnement et exemples

Partie 3: 1992, Utilisation de revêtements pour réaliser la coordination de l'isolement des cartes imprimées équipées.

Partie 4: 1997, Considérations sur les contraintes de tension à haute fréquence

IECNORM.COM Click to view the full PDF of IEC 60664-1:1992+AMD1:2000 CSV

Without watermark

IEC 60664 consists of the following parts under the general title *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems*:

Part 1: 1992, Principles, requirements and tests.

Part 2-1: 1997, Application guide – Dimensioning procedure worksheets and dimensioning examples

Part 3: 1992, Use of coatings to achieve insulation coordination of printed board assemblies.

Part 4: 1997, Consideration of high-frequency voltage stress

IECNORM.COM

Click to view the full PDF of IEC 60664-1:1992+A1:2000 CSV

Without watermark

INTRODUCTION

La présente partie est une révision de la CEI 60664 (incluant la CEI 60664A et la modification 1) qui a été publiée en 1980 en tant que rapport ayant le statut de publication fondamentale de sécurité selon le Guide CEI 104. Elle est à présent publiée en tant que norme. Elle est maintenant numérotée comme partie 1 (comprenant les principes, prescriptions et essais) dans la nouvelle structure de la série CEI 60664 dans laquelle quelques parties ultérieures sont prévues comme suit:

- La CEI 60664-2 couvrira les prescriptions concises pour les distances d'isolement, les lignes de fuite et l'isolation solide.
- La CEI 60664-3 couvrira l'utilisation de revêtements pour réaliser la coordination de l'isolement de cartes imprimées équipées.
- La CEI 60664-4 aura la forme d'un guide d'application couvrant:
 - 1) Feuille de calcul pour la procédure de dimensionnement et exemples de dimensionnement.
 - 2) Prescriptions d'interface et moyens de contrôle des surtensions transitoires.
 - 3) Explications des degrés de pollution.
 - 4) Essais diélectriques.

Cette partie a été révisée pour

- faire la distinction entre coordination de l'isolement pour:
 - l'alimentation réseau;
 - d'autres systèmes d'installation;
 - les circuits internes des matériels;
- indiquer que des conditions de maîtrise des surtensions peuvent soit exister naturellement dans un réseau soit être obtenues au moyen de dispositifs d'atténuation des surtensions;
- insister sur le fait que les catégories de surtension ont une implication probabiliste plutôt qu'une signification d'atténuation physique de la surtension transitoire en aval dans l'installation;
- énoncer clairement les tâches restantes des Comités d'Etudes spécialisés;
- prendre en considération les CEI 60364-4-41, CEI 60364-4-42 et 60364-4-443;
- incorporer les prescriptions pour l'isolation solide.

INTRODUCTION

This part of IEC 60664 is a revision of the 1st edition of IEC 60664 (including 664A and amendment 1) which was published in 1980 as a report having the status of a basic safety publication following IEC Guide 104. It is now published as a standard. It is now numbered as part 1 (covering principles, requirements and tests) in the new layout of the IEC 60664 series in which some further parts are foreseen as follows:

- IEC 60664-2 will cover concise requirements for clearances, creepage distances and solid insulation.
- IEC 60664-3 will cover use of coatings to achieve insulation coordination of printed board assemblies.
- IEC 60664-4 will be in the form of an application guide covering:
 - 1) Dimensioning procedure worksheet and dimensioning examples.
 - 2) Interface requirements and transient overvoltage control means.
 - 3) Explanations to the pollution degrees.
 - 4) Dielectric testing.

This part has been revised to

- provide for distinguishing insulation coordination for:
 - low-voltage mains;
 - other installation systems;
 - internal circuits of equipment;
- indicate that controlled overvoltage conditions can either inherently exist in a system or be achieved by means of overvoltage attenuating means;
- emphasize that the overvoltage categories have a probabilistic implication rather than the meaning of physical attenuation of the transient overvoltage downstream in the installation;
- spell out clearly the remaining duties of specialized Technical Committees;
- take into account IEC 60364-4-41, IEC 60364-4-442 and 60364-4-443;
- incorporate requirements for solid insulation.

COORDINATION DE L'ISOLEMENT DES MATÉRIELS DANS LES SYSTÈMES (RÉSEAUX) À BASSE TENSION –

Partie 1: Principes, prescriptions et essais

SECTION 1: GÉNÉRALITÉS ET DÉFINITIONS

1.1 Domaine d'application

1.1.1 La présente partie de la CEI 60664 traite de la coordination de l'isolement des matériels dans les installations à basse tension. Elle s'applique au matériel utilisé jusqu'à 2 000 m au-dessus du niveau de la mer, ayant une tension assignée ne dépassant pas 1 000 V en courant alternatif, de fréquences assignées ne dépassant pas 30 kHz, ou une tension assignée ne dépassant pas 1 500 V en courant continu.

Elle définit les prescriptions pour des distances d'isolement dans l'air, des lignes de fuite et de l'isolation solide des matériels, basées sur leurs critères de performance. Elle comprend les méthodes d'essais diélectriques concernant la coordination de l'isolement.

Les distances minimales d'isolement dans l'air spécifiées dans la présente partie ne s'appliquent pas en présence de gaz ionisés. Les prescriptions particulières dans de telles conditions peuvent être spécifiées par les Comités d'Etudes appropriés, comme ils l'entendent.

La présente partie ne traite pas des distances

- à travers l'isolation liquide,
- à travers les gaz autres que l'air,
- à travers l'air comprimé.

NOTE 1 L'extension du domaine d'application jusqu'à 1 MHz est à l'étude.

NOTE 2 Des tensions plus élevées peuvent exister dans les circuits internes des matériels.

NOTE 3 Les prescriptions pour les altitudes dépassant 2 000 m peuvent être déduites du tableau A.2 de l'annexe A.

1.1.2 L'objet de la présente norme fondamentale de sécurité est de guider les Comités d'Etudes responsables de matériels différents de manière à rationaliser leurs spécifications afin de réaliser la coordination de l'isolement.

Elle fournit les informations nécessaires pour guider les Comités d'Etudes ayant à spécifier les distances d'isolement dans l'air, des lignes de fuite et l'isolation solide des matériels.

1.2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 60664. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Toute norme est sujette à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 60664 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des normes indiquées ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur à un moment donné.

Guide CEI 104:1984, *Guide pour la rédaction des normes de sécurité, et rôle des comités chargés de fonctions pilotes de sécurité et de fonctions groupées de sécurité*

INSULATION COORDINATION FOR EQUIPMENT WITHIN LOW-VOLTAGE SYSTEMS –

Part 1: Principles, requirements and tests

SECTION 1: GENERAL AND DEFINITIONS

1.1 Scope

1.1.1 This part of IEC 664 deals with insulation coordination for equipment within low-voltage systems. It applies to equipment for use up to 2 000 m above sea level having a rated voltage up to a.c. 1 000 V with rated frequencies up to 30 kHz or a rated voltage up to d.c. 1 500 V.

It specifies the requirements for clearances, creepage distances and solid insulation for equipment based upon their performance criteria. It includes methods of electric testing with respect to insulation coordination.

The minimum clearances specified in this part do not apply where ionized gases occur. Special requirements for such situations may be specified at the discretion of the relevant Technical Committee.

This part does not deal with distances

- through liquid insulation,
- through gases other than air,
- through compressed air.

NOTE 1 Extension of the scope up to 1 MHz is under consideration.

NOTE 2 Higher voltages may exist in internal circuits of the equipment.

NOTE 3 Requirements for altitudes exceeding 2 000 m can be derived from table A.2 of annex A.

1.1.2 The object of this basic safety standard is to guide Technical Committees responsible for different equipment in order to rationalize their requirements so that insulation coordination is achieved.

It provides the information necessary to give guidance to Technical Committees when specifying clearances in air, creepage distances and solid insulation for equipment.

1.2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 60664. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this part of IEC 60664 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative document indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC Guide 104:1984, *Guide to the drafting of safety publications, and the role of committees with safety pilot functions and safety group functions*

CEI 60038:1983, *Tensions normales de la CEI*

CEI 60050(151):1978, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 151: Dispositifs électriques et magnétiques*

CEI 60050(604):1987, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 604: Production, transport et distribution de l'énergie électrique: Exploitation*

CEI 60060-1:1989, *Techniques des essais à haute tension – Première partie: Définitions et prescriptions générales relatives aux essais*

CEI 60068-1:1988, *Essais d'environnement – Première partie: Généralités et guide*

CEI 60068-2-2:1974, *Essai d'environnement – Deuxième partie: Essais. Essai B: Chaleur sèche*

CEI 60068-2-3:1969, *Essai d'environnement – Deuxième partie: Essais. Essai Ca: Essai continu de chaleur humide*

CEI 60068-2-14:1984, *Essai d'environnement – Deuxième partie: Essais. Essai N: Variations de température*

CEI 60085:1984, *Evaluation et classification thermiques de l'isolation électrique*

CEI 60099-1:1991, *Parafoudres – Première partie: Parafoudres à résistance variable pour réseaux à courant alternatif*

CEI 60112:1979, *Méthode pour déterminer les indices de résistance et de tenue au cheminement des matériaux isolants solides dans des conditions humides*

CEI 60216, *Guide pour la détermination des propriétés d'endurance thermique de matériaux isolants électriques*

CEI 60243-1:1988, *Méthodes d'essai pour la détermination de la rigidité diélectrique des matériaux isolants solides – Première partie: Mesure aux fréquences industrielles*

CEI 60335-1:1991, *Sécurité des appareils électrodomestiques et analogues – Partie 1: Prescriptions générales*

CEI 60364-4-41:1982, *Installations électriques des bâtiments – Quatrième partie: Protection pour assurer la sécurité – Chapitre 41: Protection contre les chocs électriques*

CEI 60364-4-442:1992, *Installations électriques des bâtiments – Quatrième partie: Protection pour assurer la sécurité – Chapitre 44: Protection contre les surtensions – Section 442: Protection des installations basse tension contre les défauts entre réseaux haute tension et terre*

CEI 60364-4-443:1990, *Installations électriques des bâtiments – Quatrième partie: Protection pour assurer la sécurité – Chapitre 44: Protection contre les surtensions – Section 443: Protection contre les surtensions d'origine atmosphérique ou dues à des manoeuvres*

CEI 60364-5-537:1981, *Installations électriques des bâtiments – Cinquième partie: Choix et mise en oeuvre des matériels électriques – Chapitre 53: Appareillage – Section 537: Dispositifs de sectionnement et de commande. Modification n° 1 (1989)*

IEC 60038:1983, *IEC standard voltages*

IEC 60050(151):1978, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 151: Electrical and magnetic devices*

IEC 60050(604):1987, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 604: Generation, transmission and distribution of electricity – Operation*

IEC 60060-1:1989, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

IEC 60068-1:1988, *Environmental testing – Part 1: General and guidance*

IEC 60068-2-2:1974, *Environmental testing – Part 2: Tests, Tests B: Dry heat*

IEC 60068-2-3:1969, *Environmental testing – Part 2: Tests, Test Ca: Damp heat, steady state*

IEC 60068-2-14:1984, *Environmental testing – Part 2: Tests, Test N: Change of temperature*

IEC 60085:1984, *Thermal evaluation and classification of electrical insulation*

IEC 60099-1:1991, *Lightning arresters – Part 1: Non-linear resistor type arresters for a.c. systems*

IEC 60112:1979, *Method for determining the comparative and the proof-tracking indices of solid insulating materials under moist conditions*

IEC 60216, *Guide for the determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials*

IEC 60243-1:1988, *Methods of test for electric strength of solid insulating materials – Part 1: Tests at power frequencies*

IEC 60335-1:1991, *Safety of household and similar electrical appliances – Part 1: General requirements*

IEC 60364-4-41:1982, *Electrical installations of buildings – Part 4: Protection for safety – Chapter 41: Protection against electric shock*

IEC 60364-4-442:1992, *Electrical installations of buildings – Part 4: Protection for safety – Chapter 44: Protection against overvoltages – Section 442: Protection of low-voltage installations against faults between high-voltage systems and earth*

IEC 60364-4-443:1990, *Electrical installations of buildings – Part 4: Protection for safety – Chapter 44: Protection against overvoltages – Section 443: Protection against overvoltages of atmospheric origin or due to switching*

IEC 60364-5-537:1981, *Electrical installations of buildings – Part 5: Selection and erection of electrical equipment – Chapter 53: Switchgear and controlgear – Section 537: Devices for isolation and switching. Amendment No. 1 (1989)*

CEI 60529:1989, *Degrés de protection procurés par les enveloppes (Code IP)*

CEI 60536:1976, *Classification des matériels électriques et électroniques en ce qui concerne la protection contre les chocs électriques*

CEI 60669-1:1981, *Interrupteurs pour installations électriques fixes domestiques et analogues – Première partie: Prescriptions générales*

CEI 60730-1:1990, *Dispositifs de commande électrique automatiques à usage domestique et analogue – Première partie: Règles générales*

1.3 Définitions

Pour les besoins de la présente partie de la CEI 60664, les définitions suivantes s'appliquent:

1.3.1

coordination de l'isolement

correspondance mutuelle des caractéristiques d'isolement du matériel électrique en tenant compte du micro-environnement prévu et des autres contraintes ayant une influence

NOTE Les contraintes de tension prévues sont caractérisées en termes de caractéristiques définies de 1.3.5 à 1.3.7.

1.3.2

distance d'isolement dans l'air (distance d'isolement)

distance la plus courte dans l'air entre deux parties conductrices

1.3.3

ligne de fuite

distance la plus courte à la surface d'un matériau isolant entre deux parties conductrices (VEI 151-03-37)

1.3.4

isolation solide

matériau isolant solide interposé entre deux parties conductrices

1.3.5

tension locale

valeur efficace la plus élevée de la tension en courant alternatif ou continu qui peut apparaître à travers n'importe quelle isolation lorsqu'un matériel est alimenté sous la tension assignée

NOTE 1 Les surtensions transitoires sont négligées.

NOTE 2 Il est tenu compte à la fois des conditions à vide ou des conditions normales de fonctionnement.

1.3.6

tension de crête répétitive (U_{rp})

valeur de crête maximale des excursions périodiques de la forme d'onde de tension résultant des déformations d'une tension en c.a. ou de composantes alternatives superposées à la tension en c.c

NOTE Les surtensions aléatoires dues par exemple à des manoeuvres occasionnelles ne sont pas considérées comme des tensions de crête répétitive.

1.3.7

surtension

toute tension ayant une valeur de crête dépassant la valeur de crête correspondante de la tension maximale en régime permanent dans les conditions normales de fonctionnement

IEC 60529:1989, *Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)*

IEC 60536:1976, *Classification of electrical and electronic equipment with regard to protection against electric shock*

IEC 60669-1:1981, *Switches for household and similar fixed electrical installations – Part 1: General requirements*

IEC 60730-1:1990, *Automatic electrical controls for electrical household appliances – Part 1: General requirements*

1.3 Definitions

For the purpose of this part of IEC 60664, the following definitions apply:

1.3.1

insulation coordination

mutual correlation of insulation characteristics of electrical equipment taking into account the expected micro-environment and other influencing stresses

NOTE Expected voltage stresses are characterized in terms of the characteristics defined in 1.3.5 to 1.3.7.

1.3.2

clearance

shortest distance in air between two conductive parts

1.3.3

creepage distance

shortest distance along the surface of the insulating material between two conductive parts (IEV 151-03-37)

1.3.4

solid insulation

solid insulating material interposed between two conductive parts

1.3.5

working voltage

highest r.m.s. value of the a.c. or d.c. voltage across any particular insulation which can occur when the equipment is supplied at rated voltage

NOTE 1 Transients are disregarded.

NOTE 2 Both open circuit conditions and normal operating conditions are taken into account.

1.3.6

recurring peak voltage (U_{rp})

maximum peak value of periodic excursions of the voltage waveform resulting from distortions of an a.c. voltage or from a.c. components superimposed on a d.c. voltage

NOTE Random overvoltages, for example due to occasional switching, are not considered to be recurring peak voltages.

1.3.7

overvoltage

any voltage having a peak value exceeding the corresponding peak value of maximum steady-state voltage at normal operating conditions

1.3.7.1

surtension temporaire

surtension à fréquence industrielle de durée relativement longue

1.3.7.2

surtension transitoire

surtension de courte durée ne dépassant pas quelques millisecondes, oscillatoire ou non, généralement fortement amortie (VEI 604-03-13)

1.3.7.2.1

surtension de (type) manoeuvre

surtension transitoire apparaissant en un point d'un réseau et engendrée par une manoeuvre ou un défaut

1.3.7.2.2

surtension de (type) foudre

surtension transitoire apparaissant en un point d'un réseau et engendrée par une décharge atmosphérique

1.3.7.3

surtension fonctionnelle

surtension intentionnelle nécessaire au fonctionnement d'un appareil

1.3.8 Tensions de tenue

1.3.8.1

tension de tenue aux chocs

valeur de crête la plus élevée d'une tension de choc, de forme et de polarité prescrites, qui ne provoque pas de claquage dans des conditions d'essai spécifiées

1.3.8.2

tension de tenue en valeur efficace

valeur efficace la plus élevée d'une tension qui ne provoque pas de claquage de l'isolation dans des conditions d'essai spécifiées

1.3.8.3

tension de tenue aux crêtes répétitives

valeur de crête la plus élevée d'une tension de crête répétitive qui ne provoque pas de claquage de l'isolation dans des conditions spécifiées

1.3.8.4

tension de tenue aux surtensions temporaires

valeur efficace la plus élevée d'une surtension temporaire qui ne provoque pas de claquage de l'isolation dans des conditions spécifiées

1.3.9

tension assignée

valeur de la tension, fixée par le constructeur à un composant, à un dispositif ou à un matériel, et à laquelle on se réfère pour le fonctionnement et pour les caractéristiques fonctionnelles

NOTE Les matériels peuvent avoir plusieurs valeurs ou une plage de tensions assignées.

1.3.7.1**temporary overvoltage**

overvoltage at power frequency of relatively long duration

1.3.7.2**transient overvoltage**

short duration overvoltage of a few milliseconds or less, oscillatory or non-oscillatory, usually highly damped (IEV 604-03-13)

1.3.7.2.1**switching overvoltage**

transient overvoltage at any point of the system due to specific switching operation or fault

1.3.7.2.2**lightning overvoltage**

transient overvoltage at any point of the system due to a specific lightning discharge

1.3.7.3**functional overvoltage**

deliberately imposed overvoltage necessary for the function of a device

1.3.8 Withstand voltages**1.3.8.1****impulse withstand voltage**

highest peak value of impulse voltage of prescribed form and polarity which does not cause breakdown of insulation under specified conditions

1.3.8.2**r.m.s. withstand voltage**

highest r.m.s. value of a voltage which does not cause breakdown of insulation under specified conditions

1.3.8.3**recurring peak withstand voltage**

highest peak value of a recurring voltage which does not cause breakdown of insulation under specified conditions

1.3.8.4**temporary withstand overvoltage**

highest r.m.s. value of a temporary overvoltage which does not cause breakdown of insulation under specified conditions

1.3.9**rated voltage**

value of voltage assigned by the manufacturer, to a component, device or equipment and to which operation and performance characteristics are referred

NOTE Equipment may have more than one rated voltage value or may have a rated voltage range.

1.3.9.1

tension assignée d'isolement

valeur efficace de tension de tenue fixée par le constructeur aux matériels ou à une partie d'entre eux, caractérisant la capacité de tenue spécifiée (à long terme) de son isolation

NOTE La tension assignée d'isolement n'est pas nécessairement égale à la tension assignée des matériels qui est principalement liée aux caractéristiques fonctionnelles.

1.3.9.2

tension assignée de tenue aux chocs

valeur de tension de tenue aux chocs fixée par le constructeur aux matériels ou à une partie d'entre eux, caractérisant la capacité de tenue spécifiée de son isolation contre des surtensions transitoires

1.3.9.3

tension assignée de tenue aux crêtes répétitives

valeur de la tension de tenue aux crêtes répétitives fixée par le constructeur aux matériels ou à une partie d'entre eux caractérisant la capacité de tenue spécifiée de son isolation contre les tensions de crêtes répétitives

1.3.9.4

surtension temporaire assignée

valeur de la tension de tenue aux surtensions temporaires fixée par le constructeur aux matériels ou à une partie d'entre eux, caractérisant la capacité de tenue spécifiée pour de courtes durées de son isolation contre les tensions en c.a.

1.3.10

catégorie de surtension

nombre définissant une condition de surtension transitoire

NOTE Les catégories de surtension I, II, III, IV sont utilisées, voir 2.2.2.1.

1.3.11

pollution

tout apport de matériau étranger solide, liquide ou gazeux (gaz ionisés), qui peut entraîner une réduction de la rigidité diélectrique ou de la résistivité de la surface de l'isolation

1.3.12 Environnement

1.3.12.1

macro-environnement

environnement de la pièce ou de tout autre endroit, dans lequel le matériel est installé ou utilisé

1.3.12.2

micro-environnement

environnement immédiat de l'isolation qui influence en particulier le dimensionnement des lignes de fuite

1.3.13

degré de pollution

nombre caractérisant la pollution prévue du micro-environnement

NOTE Les degrés de pollution 1, 2, 3 et 4 sont utilisés, voir 2.5.1.

1.3.9.1**rated insulation voltage**

r.m.s. withstand voltage value assigned by the manufacturer to the equipment or to a part of it, characterizing the specified (long-term) withstand capability of its insulation

NOTE The rated insulation voltage is not necessarily equal to the rated voltage of equipment which is primarily related to functional performance.

1.3.9.2**rated impulse voltage**

impulse withstand voltage value assigned by the manufacturer to the equipment or to a part of it, characterizing the specified withstand capability of its insulation against transient overvoltages

1.3.9.3**rated recurring peak voltage**

recurring peak withstand voltage value assigned by the manufacturer to the equipment or to a part of it, characterizing the specified withstand capability of its insulation against recurring peak voltages

1.3.9.4**rated temporary overvoltage**

temporary withstand overvoltage value assigned by the manufacturer to the equipment or to a part of it, characterizing the specified short-term withstand capability of its insulation against a.c. voltages

1.3.10**overvoltage category**

numeral defining a transient overvoltage condition

NOTE Overvoltage categories I, II, III and IV are used, see 2.2.2.1.

1.3.11**pollution**

any addition of foreign matter, solid, liquid, or gaseous that can result in a reduction of electric strength or surface resistivity of the insulation

1.3.12 Environment**1.3.12.1****macro-environment**

environment of the room or other location in which the equipment is installed or used

1.3.12.2**micro-environment**

immediate environment of the insulation which particularly influences the dimensioning of the creepage distances

1.3.13**pollution degree**

numeral characterizing the expected pollution of the micro-environment

NOTE Pollution degrees 1, 2, 3 and 4 are used, see 2.5.1.

1.3.14

champ homogène

champ électrique dont le gradient de tension est essentiellement constant entre les électrodes (champ uniforme), tel que celui existant entre deux sphères dont le rayon de chacune est plus grand que la distance qui les sépare

NOTE Une condition de champ homogène est intitulée cas B.

1.3.15

champ hétérogène

champ électrique dont le gradient de tension entre électrodes n'est pas essentiellement constant (champ non uniforme)

NOTE La condition de champ hétérogène d'une configuration point par rapport à une électrode plane est le cas le plus contraignant vis-à-vis de la tenue aux surtensions et est représenté par le cas A. Elle est représentée par une électrode point ayant un rayon de 30 µm et une surface plane de 1 m × 1 m.

1.3.16

situation de maîtrise des surtensions

situation dans un système (réseau) électrique où les surtensions transitoires prévues sont limitées à un niveau défini

1.3.17 Isolations

1.3.17.1

isolation fonctionnelle

isolation entre pièces conductrices qui est uniquement nécessaire au bon fonctionnement du matériel

1.3.17.2

isolation principale

isolation des parties actives, destinée à assurer la protection principale contre les chocs électriques

NOTE L'isolation principale ne comprend pas nécessairement l'isolation exclusivement utilisée à des fins fonctionnelles (2.1 CEI 60536).

1.3.17.3

isolation supplémentaire

isolation indépendante utilisée en plus de l'isolation principale afin d'assurer une protection contre les chocs électriques en cas de défaillance de l'isolation principale (2.2 CEI 60536)

1.3.17.4

double isolation

isolation comprenant à la fois une isolation principale et une isolation supplémentaire (2.3 CEI 60536)

1.3.17.5

isolation renforcée

système d'isolation unique des parties sous tension, assurant un degré de protection contre les chocs électriques équivalant à une double isolation dans les conditions spécifiées dans la norme CEI correspondante (2.4 CEI 60536)

NOTE Un système d'isolation unique ne sous-entend pas que l'isolation doive se composer d'une partie homogène. Le système peut comporter plusieurs couches qui ne peuvent être essayées séparément comme l'isolation principale ou supplémentaire.

1.3.18

décharge partielle (DP)

décharge électrique qui court-circuite partiellement l'isolation

1.3.14**homogeneous field**

electric field which has an essentially constant voltage gradient between electrodes (uniform field), such as that between two spheres where the radius of each sphere is greater than the distance between them

NOTE The homogeneous field condition is referred to as case B.

1.3.15**inhomogeneous field**

electric field which does not have an essentially constant voltage gradient between electrodes (non-uniform field)

NOTE The inhomogeneous field condition of a point-plane electrode configuration is the worst case with regard to voltage withstand capability and is referred to as case A. It is represented by a point electrode having a 30 µm radius and a plane of 1 m × 1 m.

1.3.16**controlled overvoltage condition**

condition within an electrical system wherein the expected transient overvoltages are limited to a defined level

1.3.17 Insulations**1.3.17.1****functional insulation**

insulation between conductive parts which is necessary only for the proper functioning of the equipment

1.3.17.2**basic insulation**

insulation applied to live parts to provide basic protection against electric shock

NOTE Basic insulation does not necessarily include insulation used exclusively for functional purposes (2-1 of IEC 60536).

1.3.17.3**supplementary insulation**

independent insulation applied in addition to basic insulation, in order to provide protection against electric shock in the event of a failure of basic insulation (2.2 of IEC 60536)

1.3.17.4**double insulation**

insulation comprising both basic insulation and supplementary insulation (2.3 of IEC 60536)

1.3.17.5**reinforced insulation**

single insulation system applied to live parts, which provides a degree of protection against electric shock equivalent to double insulation under the conditions specified in the relevant IEC standard (2.4 of IEC 60536)

NOTE A single insulation system does not imply that the insulation must be one homogeneous piece. It may comprise several layers which cannot be tested singly as basic or supplementary insulation.

1.3.18**partial discharge (PD)**

electric discharge that partially bridges the insulation

1.3.18.1

charge apparente q

charge électrique qu'il est possible de mesurer à la borne du spécimen en essai

NOTE 1 La charge apparente est inférieure à la décharge partielle.

NOTE 2 La mesure exacte de la charge apparente nécessite un état de court-circuit aux bornes du spécimen en essai (voir D.2, de l'annexe D).

1.3.18.2

grandeur de décharge spécifiée

grandeur de la charge apparente considérée comme la valeur limite au sens de la présente norme

NOTE Il convient d'évaluer l'impulsion d'amplitude maximale.

1.3.18.3

fréquence de répétition d'impulsions

le nombre moyen d'impulsions par seconde, avec une charge apparente supérieure au niveau de détection

NOTE Dans le cadre de cette norme, il n'est pas permis de pondérer les grandeurs de décharge en fonction de la fréquence de répétition d'impulsions.

1.3.18.4

tension de seuil de décharge partielle U_i

la plus faible valeur de crête de la tension d'essai à laquelle la charge apparente est supérieure à la grandeur de décharge spécifiée, si la tension d'essai est augmentée à partir d'une faible valeur pour laquelle aucune décharge ne se produit

NOTE Pour les essais en courant alternatif, il est également possible d'utiliser la valeur efficace.

1.3.18.5

tension d'extinction de décharge partielle U_e

la plus faible valeur de crête de la tension d'essai à laquelle la charge apparente est inférieure à la grandeur de décharge spécifiée, si la tension d'essai est diminuée à partir d'une valeur élevée où de telles décharges sont susceptibles de se produire

NOTE Pour les essais en courant alternatif, il est également possible d'utiliser la valeur efficace.

1.3.18.6

tension d'essai de décharge partielle U_t

la valeur de crête de la tension d'essai pour la procédure décrite en 4.1.2.4.2, à laquelle la charge apparente doit être inférieure à la grandeur de décharge spécifiée

NOTE Pour les essais en courant alternatif, il est également possible d'utiliser la valeur efficace.

1.3.19 Essais

1.3.19.1

essai de type

essai effectué sur un ou plusieurs dispositifs réalisés selon une conception donnée pour vérifier que cette conception répond à certaines spécifications (VEI 151-04-15)

1.3.19.2

essai individuel de série

essai 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)

1.3.19.3

essai (de série) sur prélèvement

essai effectué sur un certain nombre de dispositifs prélevés au hasard dans un lot (VEI 151-04-17)

1.3.18.1**apparent charge q**

electric charge which can be measured at the terminals of the specimen under test

NOTE 1 The apparent charge is smaller than the partial discharge.

NOTE 2 The measurement of the apparent charge requires a short-circuit condition at the terminals of the specimen (see annex D, D.2) under test.

1.3.18.2**specified discharge magnitude**

magnitude of the apparent charge which is regarded as the limiting value according to the objective of this standard

NOTE The pulse with the maximum amplitude should be evaluated.

1.3.18.3**pulse repetition rate**

average number of pulses per second with an apparent charge higher than the detection level

NOTE Within the scope of this standard it is not permitted to weigh discharge magnitudes according to the pulse repetition rate.

1.3.18.4**partial discharge inception voltage (U_i)**

lowest peak value of the test voltage at which the apparent charge becomes greater than the specified discharge magnitude when the test voltage is increased above a low value for which no discharge occurs

NOTE For a.c. tests the r.m.s. value may be used.

1.3.18.5**partial discharge extinction voltage (U_e)**

lowest peak value of the test voltage at which the apparent charge becomes less than the specified discharge magnitude when the test voltage is reduced below a high level where such discharges have occurred

NOTE For a.c. tests the r.m.s. value may be used.

1.3.18.6**partial discharge test voltage (U_t)**

peak value of the test voltage for the procedure of 4.1.2.4.2 at which the apparent charge has to be less than the specified discharge magnitude

NOTE For a.c. tests the r.m.s. value may be used.

1.3.19 Tests**1.3.19.1****type test**

test of one or more devices made to a certain design to show that the design meets certain specifications (IEV 151-04-15)

1.3.19.2**routine test**

test to which each individual device is subjected during or after manufacture to ascertain whether it complies with certain criteria (IEV 151-04-16)

1.3.19.3**sampling test**

test on a number of devices taken at random from a batch (IEV 151-04-17)

1.3.20

claquage électrique

défaillance de l'isolation en cas de contrainte électrique lorsque la décharge court-circuite complètement l'isolation, réduisant pratiquement à zéro la tension entre les électrodes

1.3.20.1

amorçage

claquage électrique dans un milieu liquide ou gazeux

1.3.20.2

contournement

claquage électrique à la surface d'une isolation solide dans un milieu liquide ou gazeux

1.3.20.3

perforation

claquage électrique à travers une isolation solide

SECTION 2: BASES DE LA COORDINATION DE L'ISOLEMENT

2.1 Principes de base

La coordination de l'isolement implique le choix des caractéristiques de l'isolation électrique du matériel, compte tenu de sa mise en oeuvre et en relation avec son environnement.

La coordination de l'isolement peut uniquement être réalisée à la condition que la conception du matériel prenne en compte les contraintes auxquelles celui-ci sera soumis pendant sa durée de vie escomptée.

2.1.1 Coordination de l'isolement relative aux tensions

On doit prendre en considération:

- les tensions qui peuvent apparaître dans le système (réseau);
- les tensions produites par le matériel (qui pourraient endommager d'autres matériels dans le système);
- le degré de continuité du service désiré;
- la sécurité des personnes et des biens, afin que la probabilité d'incidents fortuits dus aux contraintes de tension ne conduise pas à un risque de danger inacceptable.

2.1.1.1 Coordination de l'isolement relative aux tensions en c.a. ou en c.c. pour des longues durées

La coordination de l'isolement en ce qui concerne les tensions pour des longues durées est basée sur:

- la tension assignée;
- la tension assignée d'isolement;
- la tension locale.

1.3.20**electrical breakdown**

failure of insulation under electric stress when the discharge completely bridges the insulation, thus reducing the voltage between the electrodes almost to zero

1.3.20.1**sparkover**

electrical breakdown in a gaseous or liquid medium

1.3.20.2**flashover**

electrical breakdown along a surface of solid insulation located in a gaseous or liquid medium

1.3.20.3**puncture**

electrical breakdown through solid insulation

SECTION 2: BASIS FOR INSULATION COORDINATION**2.1 Basic principles**

Insulation coordination implies the selection of the electric insulation characteristics of the equipment with regard to its application and in relation to its surroundings.

Insulation coordination can only be achieved if the design of the equipment is based on the stresses to which it is likely to be subjected during its anticipated lifetime.

2.1.1 Insulation coordination with regard to voltage

Consideration shall be given to:

- the voltages which can appear within the system;
- the voltages generated by the equipment (which could adversely affect other equipment in the system);
- the degree of continuity of service desired;
- the safety of persons and property, so that the probability of undesired incidents due to voltage stresses do not lead to an unacceptable risk of harm.

2.1.1.1 Insulation coordination with regard to long-term a.c. or d.c. voltages

Insulation coordination with regard to long-term voltages is based on:

- rated voltage;
- rated insulation voltage;
- working voltage.

2.1.1.2 Coordination de l'isolement relative aux surtensions transitoires

La coordination de l'isolement relative aux surtensions transitoires est basée sur des situations de maîtrise des surtensions. Il y a deux sortes de situations:

- situation naturelle: situation d'un système (réseau) électrique où grâce aux caractéristiques mêmes du système (réseau) on peut s'attendre à ce que les surtensions transitoires présumées soient inférieures à un niveau défini;
- situation contrôlée: situation d'un système (réseau) électrique où grâce à des moyens spécifiques de réduction des surtensions on peut s'attendre à ce que les surtensions transitoires présumées soient inférieures à un niveau défini.

NOTE 1 Les surtensions produites dans des systèmes (réseaux) grands et complexes, tels les systèmes (réseaux) de distribution publique d'énergie, soumis à des influences multiples et variables, peuvent être seulement estimées sur une base statistique. Ceci est particulièrement vrai pour les surtensions d'origine atmosphérique et s'applique, que la maîtrise des surtensions soit réalisée au moyen d'une situation naturelle ou d'une situation contrôlée.

NOTE 2 Une analyse probabiliste est recommandée pour estimer si une situation naturelle existe ou si une situation contrôlée est nécessaire. Cette analyse exige la connaissance des caractéristiques du système (réseau) électrique, des niveaux céramiques, des niveaux de surtension transitoire, etc. Cette approche a été utilisée dans la CEI 60364-4-443 pour les installations électriques des bâtiments raccordées aux réseaux de distribution.

NOTE 3 Les moyens spécifiques de réduction des surtensions peuvent consister en un dispositif susceptible de stocker ou de dissiper l'énergie, et capable, dans des conditions définies, de dériver sans danger l'énergie des surtensions prévues à cet endroit.

Afin d'appliquer le concept de la coordination de l'isolement, une distinction doit être faite entre deux sources de surtensions transitoires:

- surtensions transitoires provenant du système (réseau) auquel le matériel est raccordé par ses bornes;
- surtensions transitoires produites dans le matériel.

La coordination de l'isolement est basée sur une série préférentielle de valeurs de tension assignée de tenue aux chocs:

330 V, 500 V, 800 V, 1 500 V, 2 500 V, 4 000 V, 6 000 V, 8 000 V, 12 000 V.

2.1.1.3 Coordination de l'isolement relative aux tensions de crête répétitive

Il faut tenir compte de la probabilité d'occurrence de décharges partielles dans l'isolation solide (voir 3.3.2.2.1) ou le long des surfaces de l'isolation (question à l'étude).

2.1.1.4 Coordination de l'isolement relative aux surtensions temporaires

Ce paragraphe est à l'étude, voir 3.3.3.2.2.1 et CEI 60364-4-442.

2.1.2 Coordination d'isolement relative aux conditions d'environnement

Les conditions du micro-environnement de l'isolation doivent être prises en compte quantifiées en termes de degrés de pollution.

Les conditions du micro-environnement dépendent principalement des conditions du macro-environnement dans lequel le matériel est situé et dans de nombreux cas les environnements sont identiques. Cependant, le micro-environnement peut être meilleur ou moins bon que le macro-environnement où, par exemple, les enveloppes, le chauffage et la ventilation ou la poussière influencent le micro-environnement.

NOTE La protection procurée par les enveloppes conformément aux classes spécifiées dans la CEI 60529 n'améliore pas nécessairement le micro-environnement en ce qui concerne la pollution.

2.1.1.2 Insulation coordination with regard to transient overvoltage

Insulation coordination with regard to transient overvoltage is based on controlled overvoltage conditions. There are two kinds of control:

- inherent control: The condition within an electrical system wherein the characteristics of the system can be expected to limit the prospective transient overvoltages to a defined level;
- protective control: The condition within an electrical system wherein specific overvoltage attenuating means can be expected to limit the prospective transient overvoltages to a defined level.

NOTE 1 Overvoltages in large and complex systems such as low-voltage mains subjected to multiple and variable influences can only be assessed on a statistical basis. This is particularly true for overvoltages of atmospheric origin and applies whether the controlled condition is achieved as a consequence of inherent control or by means of protective control.

NOTE 2 A probabilistic analysis is recommended to assess whether inherent control exists or whether protective control is needed. This analysis requires knowledge of the electrical system characteristics, the ceramic levels, transient overvoltage levels, etc. This approach has been used in IEC 60364-4-443 for electrical installations of buildings connected to low-voltage mains.

NOTE 3 The specific overvoltage attenuating means may be a device having means for storage or dissipation of energy and, under defined conditions, capable of harmlessly dissipating the energy of the overvoltages expected at the location.

In order to apply the concept of insulation coordination, distinction is made between transient overvoltages from two different sources:

- transient overvoltages originating in the system to which the equipment is connected through its terminals;
- transient overvoltages originating in the equipment.

Insulation coordination uses a preferred series of values of rated impulse voltage:

330 V, 500 V, 800 V, 1 500 V, 2 500 V, 4 000 V, 6 000 V, 8 000 V, 12 000 V.

2.1.1.3 Insulation coordination with regard to recurring peak voltage

Consideration shall be given to the extent partial-discharges can occur in solid insulation (see 3.3.2.2.1) or along surfaces of insulation (under consideration).

2.1.1.4 Insulation coordination with regard to temporary overvoltage

This subclause is under consideration, see 3.3.3.2.2.1 and IEC 60364-4-442.

2.1.2 Insulation coordination with regard to environmental conditions

The micro-environmental conditions for the insulation shall be taken into account as quantified by pollution degree.

The micro-environmental conditions depend primarily on the macro-environmental conditions in which the equipment is located and in many cases the environments are identical. However, the micro-environment can be better or worse than the macro-environment where, for example, enclosures, heating, ventilation or dust influence the micro-environment.

NOTE Protection by enclosures provided according to the classes specified in IEC 60529 does not necessarily improve the micro-environment with regard to pollution.

Les paramètres d'environnement les plus importants sont les suivants:

- pour les distances d'isolement dans l'air:
 - la pression de l'air,
 - la température, si elle varie sur une grande plage;
- pour les lignes de fuite:
 - la pollution,
 - l'humidité relative,
 - la condensation;
- pour l'isolation solide:
 - la température,
 - l'humidité relative.

2.2 Tensions et caractéristiques assignées de tension

Pour le dimensionnement du matériel, selon la coordination de l'isolement, les Comités d'Etudes doivent spécifier:

- les caractéristiques assignées de tension,
- une catégorie de surtension selon l'utilisation prévue du matériel, en tenant compte des caractéristiques du système (réseau) auquel il est prévu de le raccorder.

2.2.1 Détermination de la tension pour des contraintes de longues durées

On suppose que la tension assignée du matériel n'est pas inférieure à la tension nominale du réseau d'alimentation.

2.2.1.1 Tension pour le dimensionnement de l'isolation principale

2.2.1.1.1 Matériel alimenté directement par le réseau

Les tensions nominales du réseau ont été rationalisées selon les tableaux 3a et 3b (voir 3.2.1.1) et ces tensions constituent les valeurs minimales à utiliser pour le choix des lignes de fuite. Elles peuvent aussi être utilisées pour le choix de la tension assignée d'isolement.

Pour un matériel ayant plusieurs tensions assignées, permettant son utilisation pour différentes tensions nominales du réseau d'alimentation, la tension choisie doit être appropriée pour la tension assignée la plus élevée du matériel.

Les Comités d'Etudes doivent considérer si la tension doit être choisie:

- en fonction de la tension entre phases, ou
- en fonction de la tension entre phase et neutre.

Dans le dernier cas, le Comité d'Etudes doit spécifier la manière dont l'utilisateur doit être informé que le matériel est uniquement à utiliser dans des réseaux à neutre relié à la terre.

2.2.1.1.2 Systèmes (réseaux), matériels et circuits internes non alimentés directement par le réseau

La valeur efficace la plus élevée de la tension susceptible d'apparaître dans le système (réseau), le matériel ou les circuits internes doit être utilisée pour l'isolation principale. La tension est déterminée pour une alimentation sous tension assignée et dans les conditions les plus sévères prévues dans les caractéristiques assignées du matériel.

NOTE Il n'est pas tenu compte des conditions de défauts.

The most important environmental parameters are as follows:

- for clearances:
 - air pressure,
 - temperature, if it has a wide variation;
- for creepage distances:
 - pollution,
 - relative humidity,
 - condensation;
- for solid insulation:
 - temperature,
 - relative humidity.

2.2 Voltages and voltage ratings

For the purpose of dimensioning equipment in accordance with insulation coordination, technical committees shall specify:

- the basis for voltage ratings,
- an overvoltage category according to the expected use of the equipment, taking into account the characteristics of the system to which it is intended to be connected.

2.2.1 Determination of voltage for long-term stresses

It is assumed that the rated voltage of equipment is not lower than the nominal voltage of the supply system.

2.2.1.1 Voltage for dimensioning basic insulation

2.2.1.1.1 Equipment energized directly from the low-voltage mains

The nominal voltages of the low-voltage mains have been rationalized according to tables 3a and 3b (see 3.2.1.1) and these voltages are the minimum to be used for the selection of creepage distances. They may also be used for the selection of rated insulation voltages.

For equipment having several rated voltages so that it may be used at different nominal voltages of the low-voltage mains, the voltage selected shall be appropriate for the highest rated voltage of the equipment.

Technical Committees shall consider whether the voltage is to be selected:

- based on line-to-line voltage, or
- based on line-to-neutral voltage.

In the latter case the Technical Committee shall specify how the user is to be informed that the equipment is for use on neutral-earthed systems only.

2.2.1.1.2 Systems, equipment and internal circuits not energized directly from the low-voltage mains

The highest r.m.s. voltage which can occur in the system, equipment or internal circuits shall be used for basic insulation. The voltage is determined for supply at rated voltage and under the most onerous combination of other conditions within the rating of the equipment.

NOTE Fault conditions are not taken into account.

2.2.1.2 Tension pour le dimensionnement de l'isolation fonctionnelle

La tension locale est utilisée pour déterminer les dimensions correspondant à l'isolation fonctionnelle.

2.2.2 Détermination de la tension assignée de tenue aux chocs

Les surtensions transitoires constituent la base pour la détermination de la tension assignée de tenue aux chocs.

2.2.2.1 Catégories de surtension

Le concept de catégories de surtension est utilisé pour un matériel alimenté directement par le réseau.

NOTE Ce concept de catégories de surtension est utilisé dans la CEI 60364-4-443.

Un concept similaire peut aussi être utilisé pour des matériels raccordés à d'autres systèmes (réseaux), par exemple des réseaux de télécommunications et de transmissions de données.

2.2.2.1.1 Matériel alimenté directement par le réseau

Les Comités d'Etudes doivent spécifier la catégorie de surtension en se basant sur l'explication générale suivante des catégories de surtension (voir aussi la CEI 60364-4-443):

- Les matériels de catégorie IV sont utilisés à l'origine de l'installation.

NOTE Des exemples de tels matériels sont les compteurs électriques et les matériels principaux de protection contre les surintensités.

- Les matériels de catégorie III sont les matériels des installations fixes et dans le cas où la fiabilité et la disponibilité du matériel font l'objet de spécifications particulières.

NOTE Des exemples de tels matériels sont les appareils de l'installation fixe et des matériels à usage industriel avec raccordement permanent à l'installation fixe.

- Les matériels de catégorie II sont des matériels consommateurs d'énergie, alimentés à partir de l'installation fixe.

NOTE Des exemples de tels matériels sont les appareils électrodomestiques, les outils portatifs et les autres charges électrodomestiques et analogues.

Si ce matériel est, cependant, soumis à des exigences sévères concernant la fiabilité et la disponibilité, la catégorie III est applicable.

- Les matériels de catégorie I sont des matériels pour raccordement aux circuits dans lesquels des mesures pour limiter les surtensions transitoires à un niveau faible approprié sont prises.

NOTE Les circuits électroniques protégés sont des exemples.

2.2.2.1.2 Systèmes (réseaux) et matériels non alimentés directement par le réseau

Il est recommandé que les Comités d'Etudes spécifient les catégories de surtension ou les tensions assignées de tenue aux chocs appropriées. L'application de la série préférentielle de 2.1.1.2 est recommandée.

NOTE De tels systèmes (réseaux) sont, par exemple, des systèmes de télécommunication, des systèmes de commande industrielle ou des systèmes indépendants placés sur des véhicules.

2.2.2.2 Choix de la tension assignée de tenue aux chocs pour le matériel

La tension assignée de tenue aux chocs du matériel doit être choisie dans le tableau 1 correspondant à la catégorie de surtension spécifiée et à la tension assignée du matériel.

NOTE 1 Le matériel ayant une tension assignée de tenue particulière aux chocs et plus d'une tension assignée peut être utilisé dans différentes conditions de catégories de surtension.

NOTE 2 Pour l'étude de l'aspect surtension de manœuvre, voir 2.2.2.4.

2.2.1.2 Voltage for dimensioning functional insulation

The working voltage is used for determining the dimensions required for functional insulation.

2.2.2 Determination of rated impulse voltage

The transient overvoltages are taken as the basis for determining the rated impulse voltage.

2.2.2.1 Overvoltage categories

The concept of overvoltage categories is used for equipment energized directly from the low-voltage mains.

NOTE This concept of overvoltage categories is used in IEC 60364-4-443.

A similar concept can also be used for equipment connected to other systems, for example telecommunication and data systems.

2.2.2.1.1 Equipment energized directly from the low-voltage mains

Technical Committees shall specify the overvoltage category as based on the following general explanation of overvoltage categories (see also IEC 60364-4-443):

- Equipment of overvoltage category IV is for use at the origin of the installation.

NOTE Examples of such equipment are electricity meters and primary overcurrent protection equipment.

- Equipment of overvoltage category III is equipment in fixed installations and for cases where the reliability and the availability of the equipment is subject to special requirements.

NOTE Examples of such equipment are switches in the fixed installation and equipment for industrial use with permanent connection to the fixed installation.

- Equipment of overvoltage category II is energy-consuming equipment to be supplied from the fixed installation.

NOTE Examples of such equipment are appliances, portable tools and other household and similar loads.

If such equipment is subjected to special requirements with regard to reliability and availability, overvoltage category III applies.

- Equipment of overvoltage category I is equipment for connection to circuits in which measures are taken to limit transient overvoltages to an appropriately low level.

NOTE Examples are protected electronic circuits.

2.2.2.1.2 Systems and equipment not energized directly from the low-voltage mains

It is recommended that Technical Committees specify overvoltage categories or rated impulse voltages as appropriate. Application of the preferred series of 2.1.1.2 is recommended.

NOTE Telecommunication or industrial control systems or independent systems on vehicles are examples of such systems.

2.2.2 Selection of rated impulse voltage for equipment

The rated impulse voltage of the equipment shall be selected from table 1 corresponding to the overvoltage category specified and to the rated voltage of the equipment.

NOTE 1 Equipment with a particular rated impulse voltage and having more than one rated voltage may be suitable for use in different overvoltage categories.

NOTE 2 For consideration of the switching overvoltage aspect, see 2.2.2.4.

Tableau 1 – Tension assignée de choc pour les matériels alimentés directement par le réseau

Tension nominale du réseau d'alimentation ¹⁾ fondée sur la CEI 60038 ³⁾		Tension phase-neutre déduite des tensions nominales c.a. ou c.c. jusqu'à et y compris	Tension assignée de choc ²⁾			
Triphasé	Monophasé		Catégorie de surtension ⁴⁾			
			I	II	III	IV
230/400 277/480 400/690 1 000	120-240	50	330	500	800	1 500
		100	500	800	1 500	2 500
		150	800	1 500	2 500	4 000
		300	1 500	2 500	4 000	6 000
		600	2 500	4 000	6 000	8 000
		1 000	4 000	6 000	8 000	12 000
1) Voir annexe B pour l'application aux différents réseaux de distribution électrique existants et leurs tensions nominales. 2) Les matériels avec ces tensions assignées de tenue aux chocs peuvent être utilisés dans les installations conformes à la CEI 60364-4-443. 3) La marque / indique un réseau électrique triphasé à 4 fils (montage en étoile). La valeur inférieure est la tension entre phase et neutre, alors que la valeur supérieure est la tension entre phases. Lorsqu'une seule valeur est indiquée, elle se rapporte à des réseaux triphasés à 3 fils, et spécifie la valeur entre phases. 4) Voir 2.2.2.1.1 pour une explication relative aux catégories de surtension.						

2.2.2.3 Coordination de l'isolement de la tension de tenue aux chocs dans le matériel

2.2.2.3.1 Pour les parties ou les circuits situés à l'intérieur d'un matériel et qui sont sensiblement influencés par les surtensions transitoires externes, la tension assignée de tenue aux chocs du matériel est applicable. Les surtensions transitoires qui peuvent être produites par le fonctionnement du matériel ne doivent pas influencer les conditions des circuits externes au-delà de celles indiquées en 2.2.2.4.

2.2.2.3.2 Pour les autres parties ou circuits situés à l'intérieur d'un matériel qui sont spécifiquement protégés contre les surtensions transitoires de telle sorte qu'ils ne soient pas influencés de manière significative par les surtensions transitoires externes, la tension de tenue aux chocs prescrite pour l'isolation principale n'est pas liée à la tension assignée de choc des matériels mais aux conditions réelles concernant cette partie ou ce circuit. L'application des séries préférentielles des valeurs de tension de tenue aux chocs, comme introduites en 2.1.1.2, est cependant recommandée pour permettre une normalisation. Dans d'autres cas, l'interpolation des valeurs du tableau 2 est autorisée.

2.2.2.4 Surtension de manœuvre produite par le matériel

Pour un matériel susceptible de créer des surtensions, comme par exemple les appareils de connexion, la tension assignée de tenue aux chocs implique que le matériel ne doit pas produire de surtension supérieure à cette valeur lorsqu'il est utilisé conformément à la norme correspondante et aux instructions du constructeur.

NOTE Le risque résiduel que des tensions supérieures à la tension assignée de choc puissent être engendrées dépend des conditions du circuit.

Si un appareil de connexion de tension de choc assignée ou de catégorie de surtension particulière est tel qu'il n'engendre pas de surtensions supérieures à celle d'une catégorie de surtension inférieure, il a deux tensions de choc assignées ou deux catégories de surtension: la plus élevée se rapportant à sa tension de tenue aux chocs, la plus faible se rapportant aux surtensions produites.

NOTE Une valeur donnée de la tension assignée de tenue aux chocs implique que des surtensions inférieures ou égales à cette amplitude pourraient devenir effectives dans le réseau et que, par conséquent, le matériel ne conviendrait pas pour une utilisation dans des catégories de surtension inférieures ou pourrait nécessiter des moyens de réduction appropriés à cette catégorie inférieure.

Table 1 – Rated impulse voltage for equipment energized directly from the low-voltage mains

Nominal voltage of the supply system ¹⁾ based on IEC 60038 ³⁾		Voltage line to neutral derived from nominal voltages a.c. or d.c. up to and including V	Rated impulse voltage ²⁾			
Three phase	Single phase		Overvoltage category ⁴⁾			
			I	II	III	IV
230/400 277/480 400/690 1 000	120-240	50	330	500	800	1 500
		100	500	800	1 500	2 500
		150	800	1 500	2 500	4 000
		300	1 500	2 500	4 000	6 000
		600	2 500	4 000	6 000	8 000
		1 000	4 000	6 000	8 000	12 000

1) See annex B for application to existing different low-voltage mains and their nominal voltages.

2) Equipment with these rated impulse voltages can be used in installations in accordance with IEC 60364-4-443.

3) The / mark indicates a four-wire three-phase distribution system. The lower value is the voltage line-to-neutral, while the higher value is the voltage line-to-line. Where only one value is indicated, it refers to three-wire, three-phase systems and specifies the value line-to-line.

4) See 2.2.2.1.1 for an explanation of the overvoltage categories.

2.2.2.3 Impulse voltage insulation coordination within equipment

2.2.2.3.1 For parts or circuits within equipment which are significantly influenced by external transient overvoltages, the rated impulse voltage of the equipment applies. Transient overvoltages which can be generated by the operation of the equipment shall not influence external circuit conditions beyond that specified in 2.2.2.4.

2.2.2.3.2 For other parts or circuits within equipment which are specifically protected against transient overvoltages, so that they are not significantly influenced by external transient overvoltages, the impulse withstand voltage required for basic insulation is not related to the rated impulse voltage of the equipment but to the actual conditions for that part or circuit. Application of the preferred series of impulse voltage values as introduced in 2.1.1.2 is, however, recommended to permit standardization. In other cases, interpolation of table 2 values is allowed.

2.2.2.4 Switching overvoltage generated by the equipment

For equipment capable of generating an overvoltage at the equipment terminals, for example switching devices, the rated impulse voltage implies that the equipment shall not generate overvoltage in excess of this value when used in accordance with the relevant standard and instructions of the manufacturer.

NOTE The residual risk that voltages in excess of the rated impulse voltage can be generated depends on the circuit conditions.

If a switching device with a particular rated impulse voltage or overvoltage category does not generate overvoltages higher than those of a lower overvoltage category, it has two rated impulse voltages or two overvoltage categories: the higher one referring to its impulse withstand voltage, the lower one referring to the generated overvoltage.

NOTE A given value of rated impulse voltage implies that overvoltages up to that magnitude may become effective in the system and that, as a consequence, the equipment may be unsuitable for use in lower overvoltage categories or require suppression means suitable for the lower category.

2.2.2.5 Prescriptions d'interface

Le matériel peut être utilisé suivant les conditions d'une catégorie de surtension supérieure si une réduction appropriée de la surtension est pourvue. L'amortissement de surtension approprié peut être réalisé par

- un dispositif de protection contre les surtensions;
- un transformateur à enroulements isolés;
- un réseau de distribution possédant un grand nombre de branches (capables de dériver l'énergie des chocs);
- une capacitance capable d'absorber l'énergie des chocs;
- une résistance ou un dispositif d'amortissement similaire capable de dissiper l'énergie des chocs.

NOTE L'attention est attirée en particulier sur le fait que tout dispositif de protection contre les surtensions placé dans l'installation ou dans le matériel peut devoir dissiper plus d'énergie que tout dispositif de protection contre les surtensions placé à l'origine de l'installation ayant une tension résiduelle plus élevée. Ceci s'applique en particulier au dispositif de protection dont la tension résiduelle est la plus faible.

2.2.3 Détermination de la tension de crête répétitive

Ce paragraphe est à l'étude.

2.2.4 Détermination de la surtension temporaire

2.2.4.1 généralités

Les situations relatives aux surtensions temporaires les plus sévères dues aux perturbations d'alimentation sont traitées dans la CEI 60364-4-442 qui considère la sécurité des personnes et des biens dans un système basse tension dans le cas d'un défaut entre le système à haute tension et la terre.

2.2.4.2 Tension de défaut

L'amplitude et la durée d'une tension de défaut ou de la tension de contact due à un défaut à la terre dans un système à haute tension sont montrées à la figure 44A de la CEI 60364-4-442.

2.2.4.3 Contraintes dues à des surtensions temporaires

L'amplitude et la durée d'une surtension temporaire dans un équipement à basse tension due à un défaut à la terre dans un système à haute tension sont données en 3.3.3.2.2.

2.3 Fréquence

Cet article est à l'étude.

2.4 Durée d'application de la contrainte de tension

En ce qui concerne les lignes de fuite, la durée d'application de la contrainte de tension influe sur le nombre de cas d'apparition du séchage pouvant produire des scintillations d'une énergie suffisamment importante pour entraîner le cheminement. Le nombre d'apparitions de séchage est considéré comme suffisamment important pour entraîner le cheminement:

- dans les matériels destinés à un usage continu et qui ne produisent pas à l'intérieur d'eux-mêmes suffisamment de chaleur pour le séchage;
- dans les matériels côté entrée d'un appareil de connexion et entre les bornes de ligne et de charge (entrée et sortie) d'un appareil de connexion directement alimenté par le réseau basse tension;
- dans les matériels sujets à condensation sur de longues périodes, et fréquemment fermés et coupés.

2.2.2.5 Interface requirements

Equipment may be used under the conditions of a higher overvoltage category where appropriate overvoltage reduction is provided. Appropriate overvoltage attenuation can be achieved by:

- an overvoltage protective device;
- a transformer with isolated windings;
- a distribution system with a multiplicity of branch circuits (capable of diverting energy of surges);
- a capacitance capable of absorbing energy of surges;
- a resistance or similar damping device capable of dissipating the energy of surges.

NOTE Attention is drawn to the fact that any overvoltage protective device within the installation or within equipment may have to dissipate more energy than any overvoltage protective device at the origin of the installation having a higher clamping voltage. This applies particularly to the overvoltage protective device with the lowest clamping voltage.

2.2.3 Determination of recurring peak voltage

This subclause is under consideration.

2.2.4 Determination of temporary overvoltage

2.2.4.1 General

Situations related to the most onerous temporary overvoltages due to faults in the supply system are dealt with in IEC 60364-4-442, which takes into consideration the safety of persons and equipment in a low-voltage system in the event of a fault between the high-voltage system and earth.

2.2.4.2 Fault voltage

The magnitude and the duration of the fault voltage or the touch voltage due to an earth fault in the high-voltage system are shown in figure 44A of IEC 60364-4-442.

2.2.4.3 Stress due to temporary overvoltages

The magnitude and duration of a temporary overvoltage in low-voltage equipment due to an earth fault in the high-voltage system are given in 3.3.3.2.2.

2.3 Frequency

This clause is under consideration.

2.4 Time under voltage stress

With regard to creepage distances, the time under voltage stress influences the number of drying-out incidents capable of causing surface scintillations with energy high enough to entail tracking. The number of drying-out incidents is considered to be sufficiently large to cause tracking:

- in equipment intended for continuous use and not generating in its interior sufficient heat for drying-out;
- in equipment on the input side of a switch and between the line and load (input and output) terminals of a switch supplied directly from the low-voltage mains;
- in equipment subject to condensation for longer periods and frequently switched on and off.

Les lignes de fuite indiquées dans le tableau 4 ont été déterminées pour une isolation destinée à être soumise à une contrainte de tension de longue durée. Les Comités d'Etudes concernés par l'isolation d'un matériel soumis à des contraintes de tension de courte durée peuvent envisager l'utilisation de lignes de fuite plus courtes que celles recommandées au tableau 4.

NOTE Excepté pour le degré de pollution 4, la ligne de fuite correspondant à un niveau de tension inférieur peut être utilisée pour une isolation soumise à une contrainte d'une durée totale inférieure ou égale à 15 000 h. De même, pour une isolation soumise à une contrainte de durée inférieure ou égale à 1 500 h, la ligne de fuite correspondant à deux niveaux de tension inférieurs peut être utilisée. Ces degrés de diminution à partir des conditions de contrainte permanente sont provisoires.

En variante, pour le degré de pollution 2, les lignes de fuite spécifiées dans le tableau 4 pour les matériaux du groupe I sont applicables à tous les groupes de matériaux.

On peut adopter la même attitude vis-à-vis d'une isolation qui ne subit que des contraintes intermittentes à l'intérieur d'un matériel soumis lui-même à une contrainte de tension de longue durée.

2.5 Pollution

Le micro-environnement détermine l'effet sur l'isolation. Cependant le macro-environnement doit être pris en considération lors de l'étude du micro-environnement.

Des moyens tels que l'utilisation efficace d'enveloppes, d'enrobage ou de scellements hermétiques peuvent être employés pour réduire la pollution de l'isolation considérée. De tels moyens pour réduire la pollution peuvent ne pas être efficaces lorsque le matériel est sujet à la condensation ou si, en fonctionnement normal, le matériel produit lui-même des éléments polluants.

Les faibles distances d'isolement peuvent se trouver complètement pontées par des particules solides, des poussières et de l'eau et, en conséquence, des distances minimales sont spécifiées lorsqu'il peut y avoir de la pollution dans le micro-environnement.

NOTE 1 La pollution devient conductrice en présence d'humidité. La pollution due à de l'eau contaminée, de la suie, de la poussière de métal ou de carbone est naturellement conductrice.

NOTE 2 La pollution conductrice par gaz ionisés et dépôts métalliques est limitée à des cas spécifiques, par exemple dans les chambres à arc de l'appareillage, et n'est pas traitée dans cette partie de la CEI 60664.

2.5.1 Degrés de pollution dans le micro-environnement

Afin d'évaluer les lignes de fuite et les distances d'isolement, les quatre degrés de pollution suivants sont définis pour le micro-environnement:

– Degré de pollution 1

Il n'existe pas de pollution ou il se produit seulement une pollution sèche, non conductrice. La pollution n'a pas d'influence.

– Degré de pollution 2

Il ne se produit qu'une pollution non conductrice. Cependant, on doit s'attendre de temps en temps à une conductivité temporaire provoquée par de la condensation.

– Degré de pollution 3

Présence d'une pollution conductrice ou d'une pollution sèche, non conductrice, qui devient conductrice par suite de la condensation qui peut se produire.

– Degré de pollution 4

La pollution produit une conductivité persistante causée par la poussière conductrice ou par la pluie ou la neige.

2.5.2 Coordination avec le macro-environnement

Ce paragraphe est à l'étude.

The creepage distances shown in table 4 have been determined for insulation intended to be under continuous voltage stress for a long time. Technical Committees responsible for equipment in which insulation is under voltage stress for only a short time may consider allowing reduced creepage distances than those specified in table 4.

NOTE Except for pollution degree 4, the creepage distance corresponding to one voltage step lower may be used for insulation stressed for a total of 15 000 h or less. Similarly, for insulation stressed 1 500 h or less, the creepage distance corresponding to two voltage steps lower may be used. These degrees of relaxation from the conditions of continuous stress are provisional.

Alternatively, for pollution degree 2, the creepage distances specified in table 4 for material group I are applicable for all material groups.

The same consideration may be given to insulation which is only intermittently stressed within equipment which is itself under voltage stress for a long time.

2.5 Pollution

The micro-environment determines the effect of pollution on the insulation. The macro-environment, however, has to be taken into account when considering the micro-environment.

Means may be provided to reduce pollution at the insulation under consideration by effective use of enclosures, encapsulation or hermetic sealing. Such means to reduce pollution may not be effective when the equipment is subject to condensation or if, in normal operation, it generates pollutants itself.

Small clearances can be bridged completely by solid particles, dust and water and therefore minimum clearances are specified where pollution may be present in the micro-environment.

NOTE 1 Pollution will become conductive in the presence of humidity. Pollution caused by contaminated water, soot, metal or carbon dust is inherently conductive.

NOTE 2 Conductive pollution by ionized gases and metallic depositions occurs only in specific instances, for example in arc chambers of switchgear or controlgear, and is not covered by this part of IEC 60664.

2.5.1 Degrees of pollution in the micro-environment

For the purpose of evaluating creepage distances and clearances, the following four degrees of pollution in the micro-environment are established:

- *Pollution degree 1*
No pollution or only dry, non-conductive pollution occurs. The pollution has no influence.
- *Pollution degree 2*
Only non-conductive pollution occurs except that occasionally a temporary conductivity caused by condensation is to be expected.
- *Pollution degree 3*
Conductive pollution occurs or dry non-conductive pollution occurs which becomes conductive due to condensation which is to be expected.
- *Pollution degree 4*
The pollution generates persistent conductivity caused by conductive dust or by rain or snow.

2.5.2 Coordination with macro-environment

This subclause is under consideration.

2.6 Information fournie avec le matériel

Les Comités d'Etudes doivent spécifier quelle information appropriée doit être fournie avec le matériel et de quelle manière celle-ci doit être donnée.

2.7 Matériau isolant

2.7.1 Indice de résistance au cheminement (IRC)

2.7.1.1 En ce qui concerne le cheminement, les matériaux isolants peuvent être sommairement caractérisés selon les dommages subis de par la libération localisée d'énergie résultant de scintillations lors de l'interruption d'un courant de fuite superficiel en raison du séchage de la surface contaminée. En présence de scintillations, le matériau isolant peut avoir les comportements suivants:

- aucune décomposition du matériau isolant;
- usure du matériau isolant par action des décharges électriques (électroérosion);
- formation progressive de chemins conducteurs se formant à la surface du matériau isolant en raison des effets conjugués de la contrainte électrique et de la contamination conductrice électrolytique en surface (cheminement).

NOTE Le cheminement ou l'érosion apparaît lorsque

- un film liquide conduisant le courant de fuite superficiel se rompt, et que
- la tension appliquée est suffisante pour provoquer le claquage du petit intervalle formé lorsque le film se rompt, et que
- le courant est supérieur à une valeur limite qui est nécessaire pour fournir localement une énergie suffisante pour décomposer thermiquement le matériau isolant sous le film.

La détérioration s'accroît avec le temps d'écoulement du courant.

2.7.1.2 Une méthode de classification des matériaux isolants selon 2.7.1.1 n'existe pas. Le comportement du matériau isolant sous l'action de divers agents de contamination et des tensions est extrêmement complexe. Dans ces conditions, de nombreux matériaux peuvent présenter deux ou même trois des caractéristiques indiquées. Une corrélation directe avec les groupes de matériaux de 2.7.1.3 n'est pas utilisable. Cependant, il a été démontré à l'expérience et par des essais que les matériaux isolants ayant une meilleure performance relative ont approximativement le même classement relatif d'après l'indice de résistance de cheminement (IRC). C'est pourquoi la présente norme utilise les valeurs d'IRC pour caractériser les matériaux isolants.

2.7.1.3 Dans le cadre de la présente norme, les matériaux sont classés comme suit en quatre groupes selon les valeurs de l'IRC. Ces valeurs sont déterminées en référence à la solution A de la CEI 60112. Les groupes sont les suivants:

- groupe de matériau I: $600 \leq \text{IRC}$;
- groupe de matériau II: $400 \leq \text{IRC} < 600$;
- groupe de matériau IIIa: $175 \leq \text{IRC} < 400$;
- groupe de matériau IIIb: $100 \leq \text{IRC} < 175$.

L'indice de tenue au cheminement (ITC) est utilisé pour vérifier les caractéristiques de cheminement des matériaux. Il est possible d'inclure un matériau dans l'un des quatre groupes ci-dessus lorsque son ITC, établi selon les méthodes de la CEI 60112 et en utilisant la solution A, est supérieur ou égal à la valeur inférieure spécifiée pour le groupe.

2.6 Information supplied with the equipment

Technical Committees shall specify the relevant information to be supplied with the equipment and the way this is to be provided.

2.7 Insulating material

2.7.1 Comparative tracking index (CTI)

2.7.1.1 With regard to tracking, an insulating material can be roughly characterized according to the damage it suffers from the concentrated release of energy during scintillations when a surface leakage current is interrupted due to the drying-out of the contaminated surface. The following behaviour of an insulating material in the presence of scintillations can occur:

- no decomposition of the insulating material;
- the wearing away of insulating material by the action of electrical discharges (electrical erosion);
- the progressive formation of conductive paths which are produced on the surface of insulating material due to the combined effects of electric stress and electrolytically conductive contamination on the surface (tracking).

NOTE Tracking or erosion will occur when

- a liquid film carrying the surface leakage current breaks, and
- the applied voltage is sufficient to break down the small gap formed when the film breaks, and
- the current is above a limiting value which is necessary to provide sufficient energy locally to thermally decompose the insulating material beneath the film.

Deterioration increases with the time for which the current flows.

2.7.1.2 A method of classification for insulating materials according to 2.7.1.1 does not exist. The behaviour of the insulating material under various contaminants and voltages is extremely complex. Under these conditions, many materials may exhibit two or even all three of the characteristics stated. A direct correlation with the material groups of 2.7.1.3 is not practical. However, it has been found by experience and tests that insulating materials having a higher relative performance also have approximately the same relative ranking according to the comparative tracking index (CTI). Therefore, this standard uses the CTI values to categorize insulating materials.

2.7.1.3 For the purpose of this standard, materials are classified into four groups according to their CTI values. These values are determined in accordance with IEC 60112 using solution A. The groups are as follows:

- material group I: $600 \leq \text{CTI}$;
- material group II: $400 \leq \text{CTI} < 600$;
- material group IIIa: $175 \leq \text{CTI} < 400$;
- material group IIIb: $100 \leq \text{CTI} < 175$.

The proof tracking index (PTI) is used to verify the tracking characteristics of materials. A material may be included in one of these four groups on the basis that the PTI, verified by the method of IEC 60112 using solution A, is not less than the lower value specified for the group.

2.7.1.4 L'essai pour déterminer l'indice de résistance au cheminement (IRC) conformément à la CEI 60112 est conçu de façon à comparer la performance des divers matériaux isolants placés dans les conditions d'essai. Cet essai donne une comparaison qualitative et, dans le cas où les matériaux isolants ont tendance à former des cheminements, cet essai peut également donner une comparaison quantitative de l'indice de résistance au cheminement.

2.7.1.5 Pour le verre, les céramiques et d'autres matériaux isolants inorganiques qui ne sont pas sujets au cheminement, les lignes de fuite n'ont pas besoin d'être plus grandes que les distances d'isolement associées dans le cadre de la coordination de l'isolement. Le dimensionnement du tableau 2 sera donc approprié dans des conditions de champ hétérogène.

2.7.2 Caractéristiques diélectriques

Ce paragraphe est à l'étude.

2.7.3 Caractéristiques thermiques

Ce paragraphe est à l'étude.

2.7.4 Caractéristiques mécaniques et chimiques

Ce paragraphe est à l'étude.

SECTION 3: PRESCRIPTIONS ET RÈGLES DE DIMENSIONNEMENT

3.1 Dimensionnement des distances d'isolement

Les distances d'isolement doivent être dimensionnées pour supporter la tension de tenue aux chocs prescrite. Pour les matériels directement raccordés au réseau, la tension de tenue aux chocs requise est la tension assignée de choc établie sur la base du 2.2.2.2. Si une tension efficace en régime permanent ou une tension de crête répétitive ou une surtension temporaire exigent des distances d'isolement supérieures à celles pour la tension de tenue aux chocs prescrite, les valeurs de la colonne correspondant aux valeurs crêtes pour le courant alternatif (50/60 Hz) du tableau A.1 sont appropriées.

NOTE Dimensionner pour la tension efficace en régime permanent ou pour la tension de crête répétitive conduit à une situation où il n'existe aucune marge pour le claquage en cas d'application continue de ces tensions. Les Comités d'Etudes devraient tenir compte de ce fait.

3.1.1 Facteurs d'influence

Les dimensions des distances d'isolement doivent être choisies dans le tableau 2. Les facteurs d'influence suivants doivent être pris en considération:

- les prescriptions de tension de tenue aux chocs spécifiées en 3.1.4 pour l'isolation fonctionnelle et en 3.1.5 pour l'isolation principale, supplémentaire et renforcée;
- les conditions de champ électrique (voir 3.1.2);
- l'altitude: les dimensions des distances d'isolement spécifiées dans le tableau 2 donnent des capacités de tenue aux chocs suffisantes pour les matériels utilisés à une altitude inférieure ou égale à 2 000 m. Pour un matériel utilisé à des altitudes plus élevées, le 3.1.3 est applicable;
- le micro-environnement (voir 2.5.1).

Les influences mécaniques telles que vibrations ou effets de l'application d'une force, etc., peuvent exiger des distances d'isolement plus importantes pour le matériel.

2.7.1.4 The test for comparative tracking index (CTI) in accordance with IEC 60112 is designed to compare the performance of various insulating materials under test conditions. It gives a qualitative comparison and in the case of insulating materials having a tendency to form tracks, it also gives a quantitative comparison.

2.7.1.5 For glass, ceramics or other inorganic insulating materials which do not track, creepage distances need not be greater than their associated clearance for the purpose of insulation co-ordination. The dimensions of table 2 for inhomogeneous field conditions are appropriate.

2.7.2 Dielectric characteristics

This subclause is under consideration.

2.7.3 Thermal characteristics

This subclause is under consideration.

2.7.4 Mechanical and chemical characteristics

This subclause is under consideration.

SECTION 3: REQUIREMENTS AND DIMENSIONING RULES

3.1 Dimensioning of clearances

Clearances shall be dimensioned to withstand the required impulse withstand voltage. For equipment directly connected to the low-voltage mains the required impulse withstand voltage is the rated impulse voltage established on the basis of 2.2.2.2. If steady-state r.m.s. voltage, recurring peak voltage or temporary overvoltage require larger clearances than required for the impulse withstand voltage, the corresponding values of the column with peak values for a.c. (50/60 Hz) in table A.1 are appropriate.

NOTE Dimensioning for steady-state r.m.s. or recurring peak voltage leads to a situation in which there is no margin to breakdown with the continuous application of these voltages. Technical Committees should take this into account.

3.1.1 Influencing factors

Clearance dimensions shall be selected from table 2 taking into account the following influencing factors:

- the impulse withstand voltage according to 3.1.4 for functional insulation and 3.1.5 for basic, supplementary and reinforced insulation;
- the electric field conditions (see 3.1.2);
- the altitude: the clearance dimensions specified in table 2 give sufficient impulse withstand capability for equipment for use at altitudes up to 2 000 m; for equipment for use at higher altitudes 3.1.3 applies;
- the micro-environment (see 2.5.1).

Mechanical influences such as vibration and the effects of applied forces may require larger clearances.

3.1.2 Conditions de champ électrique

La forme et la disposition des parties conductrices (électrodes) entre lesquelles se trouve la distance d'isolement influent sur l'homogénéité du champ et, en conséquence, sur la distance requise pour tenir une tension donnée (voir tableau 2).

3.1.2.1 Conditions de champ hétérogène (cas A du tableau 2)

Des distances d'isolement au moins égales à celles du tableau 2 pour des conditions de champ hétérogène peuvent être utilisées indépendamment de la forme et de la disposition des parties conductrices, et sans vérification par un essai de tenue au choc.

Les distances d'isolement à travers des fentes dans des enveloppes en matériau isolant ne doivent pas être inférieures à celles concernant la tenue aux conditions de champ hétérogène car les configurations ne peuvent être vérifiées, ce qui peut influencer de manière contraire l'homogénéité du champ électrique.

3.1.2.2 Conditions de champ homogène (cas B du tableau 2)

Les valeurs de distances d'isolement du cas B du tableau 2 sont applicables uniquement dans des conditions de champ homogène. Elles peuvent uniquement être utilisées lorsque la forme et la disposition des parties conductrices (électrodes) sont conçues pour obtenir un champ électrique ayant essentiellement un gradient de tension constant.

Les distances d'isolement inférieures à celles indiquées pour des conditions de champ hétérogène nécessitent une vérification par essai de tenue de tension (voir 4.1.1).

NOTE Pour les faibles valeurs des distances d'isolement, la présence de la pollution peut détruire l'uniformité du champ électrique en rendant nécessaire d'augmenter les distances d'isolement au-delà des valeurs du cas B.

3.1.2 Electric field conditions

The shape and arrangement of the conductive parts (electrodes) influence the homogeneity of the field and consequently the clearance needed to withstand a given voltage (see table 2).

3.1.2.1 Inhomogeneous field conditions (case A of table 2)

Clearances not less than those specified in table 2 for inhomogeneous field conditions can be used irrespective of the shape and arrangement of the conductive parts and without verification by a voltage withstand test.

Clearances through openings in enclosures of insulating material shall not be less than those specified for inhomogeneous field conditions since the configuration is not controlled, which may have an adverse effect on the homogeneity of the electric field.

3.1.2.2 Homogeneous field conditions (case B of table 2)

Values for clearances in table 2 for case B are only applicable for homogeneous fields. They can only be used where the shape and arrangement of the conductive parts is designed to achieve an electric field having an essentially constant voltage gradient.

Clearances smaller than those for inhomogeneous field conditions require verification by a voltage withstand test (see 4.1.1).

NOTE For small values of clearances, the uniformity of the electric field can deteriorate in the presence of pollution, making it necessary to increase the clearances above the values of case B.

Tableau 2 – Distances d'isolement minimales pour la coordination de l'isolement

Tension de tenue aux chocs prescrite ¹⁾	Distances minimales d'isolement dans l'air en millimètres jusqu'à 2 000 m au-dessus du niveau de la mer							
	Cas A (champ non homogène, voir 1.3.15)				Cas B (champ homogène, voir 1.3.14)			
	Degré de pollution				Degré de pollution			
kV	1 mm	2 mm	3 mm	4 mm	1 mm	2 mm	3 mm	4 mm
0,33 ²⁾	0,01				0,01			
0,40	0,02				0,02			
0,50	0,04	³⁾			0,04	³⁾		
0,60 ²⁾	0,06	0,2			0,06	0,2		
0,80 ²⁾	0,10	⁴⁾	0,8		0,1	⁴⁾	0,8	
1,0	0,15		⁴⁾	1,6	0,15		⁴⁾	1,6
1,2	0,25	0,25			0,2			
1,5 ²⁾	0,5	0,5			0,3	0,3		
2,0	1,0	1,0	1,0		0,45	0,45		
2,5 ²⁾	1,5	1,5	1,5		0,6	0,6		
3,0	2	2	2	2	0,8	0,8		
4,0 ²⁾	3	3	3	3	1,2	1,2	1,2	
5,0	4	4	4	4	1,5	1,5	1,5	
6,0 ²⁾	5,5	5,5	5,5	5,5	2	2	2	2
8,0 ²⁾	8	8	8	8	3	3	3	3
10,0	11	11	11	11	3,5	3,5	3,5	3,5
12 ²⁾	14	14	14	14	4,5	4,5	4,5	4,5
15	18	18	18	18	5,5	5,5	5,5	5,5
20	25	25	25	25	8	8	8	8
25	33	33	33	33	10	10	10	10
30	40	40	40	40	12,5	12,5	12,5	12,5
40	60	60	60	60	17	17	17	17
50	75	75	75	75	22	22	22	22
60	90	90	90	90	27	27	27	27
80	130	130	130	130	35	35	35	35
100	170	170	170	170	45	45	45	45

¹⁾ Cette tension est:

- pour l'isolation fonctionnelle:
la tension de choc maximale prévue susceptible d'apparaître au travers de la distance d'isolement (voir 3.1.4);
- pour l'isolation principale directement exposée ou influencée significativement par les surtensions transitoires provenant du réseau d'alimentation (voir 2.2.2.2, 2.2.2.3.1 et 3.1.5):
la tension de choc assignée du matériel;
- pour les autres isolations principales (voir 2.2.2.3.2):
la tension de choc la plus élevée qui peut apparaître dans le circuit;
- pour l'isolation renforcée, voir 3.1.5.

²⁾ Valeurs préférentielles spécifiées en 2.1.1.2.

³⁾ Pour les matériaux de circuits imprimés, les valeurs pour le degré de pollution 1 s'appliquent excepté que les valeurs ne doivent pas être inférieures à 0,04 mm, comme spécifié dans le tableau 4.

⁴⁾ Les distances d'isolement minimales données pour les degrés de pollution 2, 3 et 4 sont basées sur l'expérience plutôt que sur des données fondamentales.

Table 2 – Minimum clearances for insulation coordination

Required impulse withstand voltage ¹⁾	Minimum clearances in air in millimetres up to 2 000 m above sea level							
	Case A (inhomogeneous field, see 1.3.15)				Case B (homogeneous field, see 1.3.14)			
	Pollution degree				Pollution degree			
kV	1 mm	2 mm	3 mm	4 mm	1 mm	2 mm	3 mm	4 mm
0,33 ²⁾	0,01				0,01			
0,40	0,02				0,02			
0,50	0,04	³⁾			0,04	³⁾		
0,60 ²⁾	0,06	0,2			0,06	0,2		
0,80 ²⁾	0,10	⁴⁾	0,8		0,1	⁴⁾	0,8	
1,0	0,15		⁴⁾	1,6	0,15		⁴⁾	1,6
1,2	0,25	0,25			0,2			
1,5 ²⁾	0,5	0,5			0,3	0,3		
2,0	1,0	1,0	1,0		0,45	0,45		
2,5 ²⁾	1,5	1,5	1,5		0,6	0,6		
3,0	2	2	2	2	0,8	0,8		
4,0 ²⁾	3	3	3	3	1,2	1,2	1,2	
5,0	4	4	4	4	1,5	1,5	1,5	
6,0 ²⁾	5,5	5,5	5,5	5,5	2	2	2	2
8,0 ²⁾	8	8	8	8	3	3	3	3
10,0	11	11	11	11	3,5	3,5	3,5	3,5
12 ²⁾	14	14	14	14	4,5	4,5	4,5	4,5
15	18	18	18	18	5,5	5,5	5,5	5,5
20	25	25	25	25	8	8	8	8
25	33	33	33	33	10	10	10	10
30	40	40	40	40	12,5	12,5	12,5	12,5
40	60	60	60	60	17	17	17	17
50	75	75	75	75	22	22	22	22
60	90	90	90	90	27	27	27	27
80	130	130	130	130	35	35	35	35
100	170	170	170	170	45	45	45	45

¹⁾ This voltage is:

- for functional insulation:
the maximum impulse voltage expected to occur across the clearance (see 3.1.4);
- for basic insulation directly exposed to or significantly influenced by transient overvoltages from the low-voltage mains (see 2.2.2.2, 2.2.2.3.1 and 3.1.5):
the rated impulse voltage of the equipment;
- for other basic insulation (see 2.2.2.3.2):
the highest impulse voltage that can occur in the circuit;
- for reinforced insulation, see 3.1.5.

²⁾ Preferred values specified in 2.1.1.2.

³⁾ For printed wiring material, the values for pollution degree 1 apply except that the value shall not be less than 0,04 mm, as specified in table 4.

⁴⁾ These minimum clearances given for pollution degrees 2, 3 and 4 are based on experience rather than on fundamental data.

3.1.3 Altitude

Comme les dimensions données dans le tableau 2 sont valables pour des altitudes jusque et y compris 2 000 m au-dessus du niveau de la mer, les distances d'isolement pour des altitudes supérieures à 2 000 m doivent être multipliées par le facteur de correction d'altitude spécifié au tableau A.2.

NOTE La tension disruptive d'une distance d'isolement dans l'air, pour un champ homogène (tension de tenue, cas B, dans le tableau A.1), est, selon la loi de Paschen, proportionnelle au produit de la distance entre électrodes par la pression atmosphérique. En conséquence, les valeurs expérimentales relevées approximativement au niveau de la mer sont calculées en tenant compte de la différence de pression atmosphérique entre 2 000 m et le niveau de la mer. Dans le cadre de la présente norme, les mêmes calculs sont repris pour les champs non homogènes.

3.1.4 Dimensionnement des distances d'isolement de l'isolation fonctionnelle

Pour une distance d'isolement de l'isolation fonctionnelle, la tension de choc maximale supposée se produire à travers celle-ci dans les conditions assignées du matériel (qui comprennent la tension assignée et la tension assignée de tenue aux chocs du matériel) est la tension assignée de tenue aux chocs appropriée.

3.1.5 Dimensionnement des distances d'isolement de l'isolation principale, supplémentaire et renforcée

Les distances d'isolement de l'isolation principale et supplémentaire doivent être dimensionnées chacune conformément au tableau 2 correspondant.

- à la tension assignée de tenue aux chocs suivant 2.2.2.2 ou 2.2.2.3.1 ou
- aux spécifications de tension de tenue aux chocs suivant 2.2.2.3.2.

Les distances d'isolement de l'isolation renforcée doivent être dimensionnées comme spécifié dans le tableau 2 correspondant à la tension assignée de tenue aux chocs immédiatement supérieure dans la série préférentielle de 2.1.1.2 à celle indiquée pour l'isolation principale. Si, conformément à 2.2.2.3.2, la tension de tenue aux chocs prescrite pour l'isolation principale diffère d'une valeur de la série préférentielle, l'isolation renforcée doit être dimensionnée pour supporter 160 % de la tension de tenue aux chocs exigée pour l'isolation principale.

NOTE Dans un système (réseau) coordonné, l'augmentation des distances d'isolement au-dessus du minimum exigé ne procure pas de possibilités supplémentaires pour une tension de tenue aux chocs prescrite. Cependant, pour des raisons différentes de la coordination de l'isolement, il peut être nécessaire d'augmenter les distances d'isolement (par exemple, pour des raisons mécaniques). Dans de tels cas, la tension d'essai doit rester fondée sur la tension assignée de tenue aux chocs du matériel, faute de quoi il pourrait se produire une contrainte anormale sur l'isolation solide associée.

Pour un matériel pourvu d'une double isolation où l'isolation principale et l'isolation supplémentaire ne peuvent pas être essayées séparément, le système d'isolation doit être traité comme une isolation renforcée.

NOTE Lors du dimensionnement de distances d'isolement par rapport à des surfaces accessibles en matériau isolant, de telles surfaces sont supposées être recouvertes d'une feuille métallique. De plus amples détails peuvent être spécifiés par les Comités d'Etudes.

3.1.6 Dimensionnement des distances de sectionnement

Ce paragraphe est à l'étude, voir présentement la modification 1 de la CEI 60364-5-537.

3.1.3 Altitude

As the dimensions in table 2 are valid for altitudes up to and including 2 000 m above sea level, clearances for altitudes above 2 000 m are to be multiplied by the altitude correction factor specified in table A.2.

NOTE The breakdown voltage of a clearance in air for a homogeneous field (withstand voltage case B in table A.1) is, according to Paschen's Law, proportional to the product of the distance between electrodes and the atmospheric pressure. Therefore experimental data recorded at approximately sea level is corrected according to the difference in atmospheric pressure between 2 000 m and sea level. The same correction is made for inhomogeneous fields.

3.1.4 Dimensioning of clearances of functional insulation

For a clearance of functional insulation, the maximum impulse voltage expected to occur across it under rated conditions of the equipment, in particular the rated voltage and rated impulse voltage, is the appropriate impulse withstand voltage.

3.1.5 Dimensioning of clearances of basic, supplementary and reinforced insulation

Clearances of basic and supplementary insulation shall each be dimensioned as specified in table 2 corresponding to

- the rated impulse voltage, according to 2.2.2.2 or 2.2.2.3.1, or
- the impulse withstand voltage requirements according to 2.2.2.3.2.

Clearances of reinforced insulation shall be dimensioned as specified in table 2 corresponding to the rated impulse voltage but one step higher in the preferred series of values in 2.1.1.2 than that specified for basic insulation. If the impulse withstand voltage required for basic insulation according to 2.2.2.3.2, is other than a value taken from the preferred series, reinforced insulation shall be dimensioned to withstand 160 % of the impulse withstand voltage required for basic insulation.

NOTE In a coordinated system, clearances above the minimum required are unnecessary for a required impulse withstand voltage. However, it may be necessary, for reasons other than insulation coordination, to increase clearances (for example due to mechanical influences). In such instances, the test voltage is to remain based on the rated impulse voltage of the equipment, otherwise undue stress of associated solid insulation may occur.

For equipment provided with double insulation where basic insulation and supplementary insulation cannot be tested separately, the insulation system is considered as reinforced insulation.

NOTE When dimensioning clearances to accessible surfaces of insulating material, such surfaces are assumed to be covered by metal foil. Further details can be specified by Technical Committees.

3.1.6 Dimensioning of isolating distances

This subclause is under consideration, currently see Amendment 1 to IEC 60364-5-537.

3.2 Dimensionnement des lignes de fuite

3.2.1 Facteurs d'influence

Les lignes de fuite doivent être choisies dans le tableau 4. Les facteurs d'influence suivants doivent être pris en considération:

- tension conforme à 2.2.1 (voir également 3.2.1.1);
- micro-environnement (voir 3.2.1.2);
- orientation et localisation de la ligne de fuite (voir 3.2.1.3);
- forme de la surface isolante (voir 3.2.1.4);
- matériaux isolants (voir 2.7.1);
- durée d'application de la contrainte de tension (voir article 2.4).

NOTE Les valeurs du tableau 4 sont basées sur des données empiriques existantes et conviennent à une majorité d'applications. Cependant, il peut y avoir des applications pour lesquelles d'autres valeurs des lignes de fuite sont appropriées pour l'isolation fonctionnelle.

3.2.1.1 Tension

La base de la détermination d'une ligne de fuite est la valeur efficace de longue durée de la tension existant le long de la ligne de fuite. Cette tension est la tension locale (voir 3.2.2), la tension assignée d'isolement (voir 3.2.3) ou la tension assignée (voir 3.2.3).

Les surtensions transitoires sont négligées car elles n'influencent normalement pas le phénomène de cheminement. Cependant, les surtensions temporaires et fonctionnelles doivent être prises en considération si leur durée et leur fréquence d'occurrence peuvent influencer le cheminement.

3.2.1.2 Pollution

L'influence des degrés de pollution dans le micro-environnement indiqués en 2.5.1 sur le dimensionnement des lignes de fuite est prise en considération dans le tableau 4.

NOTE Différentes conditions de micro-environnement peuvent exister dans un matériel.

3.2.1.3 Orientation et emplacement d'une ligne de fuite

Si nécessaire, le constructeur doit indiquer l'orientation prévue du matériel ou du composant afin que les lignes de fuite ne soient pas dangereusement affectées par une accumulation de pollution anormale pour laquelle elles ne sont pas conçues.

NOTE Le stockage de longue durée doit être pris en considération.

3.2.1.4 Forme de la surface isolante

Les lignes de fuite peuvent comprendre, de préférence, des nervures et des rainures transversales destinées à rompre la continuité du chemin de fuite dû aux couches conductrices superficielles. Les nervures et les rainures peuvent également être utilisées pour détourner l'écoulement d'eau de l'isolation qui est électriquement contrainte. Les joints ou les rainures reliant des parties conductrices devraient être évités car ils peuvent accumuler de la pollution ou retenir l'eau.

NOTE Le stockage de longue durée doit être pris en considération. L'évaluation de la longueur d'un chemin de fuite est donnée à l'article 4.2.

3.2 Dimensioning of creepage distances

3.2.1 Influencing factors

Creepage distances shall be selected from table 4. The following influencing factors are taken into account:

- voltage according to 2.2.1 (see also 3.2.1.1);
- micro-environment (see 3.2.1.2);
- orientation and location of creepage distance (see 3.2.1.3);
- shape of insulating surface (see 3.2.1.4);
- insulating materials (see 2.7.1);
- time under voltage stress (see clause 2.4).

NOTE The values of table 4 are based upon existing empirical data and are suitable for a majority of applications. However, there may be applications for which other values of creepage distances are appropriate for functional insulation.

3.2.1.1 Voltage

The basis for the determination of a creepage distance is the long-term r.m.s. value of the voltage existing across it. This voltage is the working voltage (see 3.2.2), the rated insulation voltage (see 3.2.3) or the rated voltage (see 3.2.3).

Transient overvoltages are neglected since they will normally not influence the tracking phenomenon. However, temporary and functional overvoltages have to be taken into account if their duration and frequency of occurrence can influence tracking.

3.2.1.2 Pollution

The influence of the degrees of pollution in the micro-environment, specified in 2.5.1, on the dimensioning of creepage distances is taken into account in table 4.

NOTE In an equipment, different micro-environmental conditions can exist.

3.2.1.3 Orientation and location of a creepage distance

If necessary, the manufacturer shall indicate the intended orientation of the equipment or component in order that creepage distances be not adversely affected by the accumulation of pollution for which they were not designed.

NOTE Long-term storage has to be taken into account.

3.2.1.4 Shape of insulating surface

Preferably, the surface of solid insulation should include transverse ridges and grooves that break the continuity of the leakage path caused by pollution. Likewise, ridges and grooves may be used to divert any water away from insulation which is electrically stressed. Joints or grooves joining conductive parts should be avoided since they can collect pollution or retain water.

NOTE Long-term storage has to be taken into account. The evaluation of the length of a creepage path is given in clause 4.2.

3.2.1.5 Relation avec la distance d'isolement

Une ligne de fuite ne peut pas être inférieure à la distance d'isolement associée, de sorte que la ligne de fuite la plus courte possible est égale à la distance d'isolement prescrite. Cependant, il n'existe aucune relation physique entre la distance minimale d'isolement dans l'air et la ligne de fuite minimale acceptable, sauf cette limitation dimensionnelle.

Des lignes de fuite inférieures aux distances d'isolement prescrites dans le cas A du tableau 2 ne peuvent être utilisées que dans des conditions de degré de pollution 1 et 2 lorsque l'essai de tension de tenue aux chocs est également suffisant pour la ligne de fuite.

3.2.2 Dimensionnement des lignes de fuite de l'isolation fonctionnelle

Les lignes de fuite de l'isolation fonctionnelle doivent être dimensionnées comme indiqué au tableau 4 correspondant à la tension locale le long de la ligne de fuite considérée.

NOTE Lorsque la tension locale est utilisée pour le dimensionnement, il peut être approprié d'interpoler les valeurs des tensions intermédiaires.

3.2.3 Dimensionnement des lignes de fuite de l'isolation principale, supplémentaire et renforcée

Les lignes de fuite de l'isolation principale et supplémentaire doivent être choisies dans le tableau 4 pour:

- les tensions rationalisées (voir 2.2.1.1) données dans les colonnes 2 et 3 du tableau 3a et les colonnes 2, 3 et 4 du tableau 3b, correspondant à la tension nominale du réseau d'alimentation;
- la tension assignée d'isolement conformément à 2.2.1.1.1;
- la tension spécifiée en 2.2.1.1.2.

NOTE Pour l'isolation supplémentaire, le degré de pollution, le groupe de matériau, les contraintes mécaniques et les conditions d'environnement d'utilisation peuvent être différents de ceux de l'isolation principale.

Les lignes de fuite de la double isolation sont la somme des valeurs de l'isolation principale et supplémentaire qui composent le système de double isolation.

L'isolation renforcée doit être dimensionnée comme spécifié au tableau 4 correspondant au double de la valeur de la tension spécifiée pour l'isolation principale.

NOTE Lors du dimensionnement des lignes de fuite par rapport à des surfaces accessibles d'un matériau isolant, de telles surfaces sont supposées être recouvertes d'une feuille métallique. De plus amples détails peuvent être spécifiés par les Comités d'Etudes.

3.2.1.5 Relationship to clearance

A creepage distance cannot be less than the associated clearance so that the shortest creepage distance possible is equal to the required clearance. However, there is no physical relationship, other than this dimensional limitation, between the minimum clearance in air and the minimum acceptable creepage distance.

Creepage distances less than the clearances required in case A of table 2 may only be used under conditions of pollution degrees 1 and 2 when an impulse withstand voltage test is also sufficient for the creepage distance.

3.2.2 Dimensioning of creepage distances of functional insulation

Creepage distances of functional insulation shall be dimensioned as specified in table 4 corresponding to the working voltage across the creepage distance considered.

NOTE When the working voltage is used for dimensioning, it may be appropriate to interpolate values for intermediate voltages.

3.2.3 Dimensioning of creepage distances of basic, supplementary and reinforced insulation

Creepage distances of basic and supplementary insulation shall be selected from table 4 for:

- the rationalized voltages (see 2.2.1.1) given in columns 2 and 3 of table 3a and columns 2, 3 and 4 of table 3b, corresponding to the nominal voltage of the supply low-voltage mains;
- the rated insulation voltage according to 2.2.1.1.1;
- the voltage specified in 2.2.1.1.2.

NOTE For supplementary insulation, the pollution degree, insulating material, mechanical stresses and environmental conditions of use may be different from those for basic insulation.

Creepage distances of double insulation are the sum of the values of the basic and supplementary insulation which compose the double insulation system.

Reinforced insulation shall be dimensioned as specified in table 4 corresponding to twice the value of the voltage specified for basic insulation.

NOTE When dimensioning creepage distances to accessible surfaces of insulating material, such surfaces are assumed to be covered by metal foil. Further details can be specified by Technical Committees.

Tableau 3a – Réseaux monophasés 3 ou 2 fils c.a. ou c.c.

Tension nominale du réseau d'alimentation*	Tensions rationalisées pour le tableau 4	
	Pour l'isolement entre phases ¹⁾	Pour l'isolement phase-terre ¹⁾
	Tous réseaux V	Réseaux à 3 fils point milieu à la terre V
12,5	12,5	
24 25	25	
30	32	
42 48 50**	50	
60	63	
30-60	63	32
100**	100	
110 120	125	
150**	160	
220	250	
110-220 120-240	250	125
300**	320	
220-440	500	250
600**	630	
480-960	1 000	500
1 000**	1 000	
¹⁾ Le niveau d'isolement phase-terre pour des réseaux non reliés à la terre ou reliés à la terre à travers une impédance est égal au niveau d'isolement entre phases, car la tension de service par rapport à la terre de toute phase peut, en pratique, tendre vers la pleine tension entre phases. Cela parce que la tension réelle par rapport à la terre est déterminée par la résistance d'isolement et la réactance capacitive de chaque phase par rapport à la terre; c'est ainsi qu'une valeur faible (mais acceptable) de la résistance d'isolement d'une phase peut effectivement la mettre au potentiel de la terre et élever les tensions des deux autres phases à la pleine tension entre phases par rapport à la terre. * Pour la relation avec la tension assignée voir 2.2.1. ** Ces valeurs correspondent aux valeurs données au tableau 1.		

Table 3a – Single-phase three or two-wire a.c. or d.c. systems

Nominal voltage of the supply system*	Voltages rationalized for table 4	
	For insulation line-to-line ¹⁾	For insulation line-to-earth ¹⁾
	All systems V	Three-wire systems mid-point earthed V
V		
12,5	12,5	
24 25	25	
30	32	
42 48 50**	50	
60	63	
30-60	63	32
100**	100	
110 120	125	
150**	160	
220	250	
110-220 120-240	250	125
300**	320	
220-440	500	250
600**	630	
480-960	1 000	500
1 000**	1 000	
¹⁾ Line-to-earth insulation level for unearthed or impedance-earthed systems equals that for line-to-line because the operating voltage to earth of any line can, in practice, approach full line-to-line voltage. This is because the actual voltage to earth is determined by the insulation resistance and capacitive reactance of each line to earth; thus, low (but acceptable) insulation resistance of one line can in effect earth it and raise the other two to full line-to-line voltage to earth. * For relationship to rated voltage see 2.2.1. ** These values correspond to the values given in table 1.		

Tableau 3b – Réseaux c.a. triphasés 4 ou 3 fils

Tension nominale du réseau d'alimentation*	Tensions rationalisées pour le tableau 4		
	Pour l'isolement entre phases	Pour l'isolement phase-terre	
	Tous réseaux	Réseaux triphasés 4 fils neutre à la terre ²⁾	Réseaux triphasés 3 fils non reliés à la terre ¹⁾ ou une phase reliée à la terre
V	V	V	V
60	63	32	63
110 120 127	125	80	125
150**	160	–	160
208	200	125	200
220 230 240	250	160	250
300**	320	–	320
380 400 415	400	250	400
440	500	250	500
480 500	500	320	500
575	630	400	630
600**	630	–	630
660 690	630	400	630
720 830	800	500	800
960	1 000	630	1 000
1 000**	1 000	–	1 000
1) Le niveau d'isolement phase-terre pour des réseaux non reliés à la terre ou reliés à la terre à travers une impédance est égal au niveau d'isolement entre phases, car la tension de service par rapport à la terre de toute phase peut, en pratique, tendre vers la pleine tension entre phases. Cela parce que la tension réelle par rapport à la terre est déterminée par la résistance d'isolement et la réactance capacitive de chaque phase par rapport à la terre; c'est ainsi qu'une valeur faible (mais acceptable) de la résistance d'isolement d'une phase peut effectivement la mettre au potentiel de la terre et élever les tensions des deux autres phases à la pleine tension entre phases par rapport à la terre. 2) Pour les matériels destinés à être utilisés à la fois en alimentations triphasées 4 fils et triphasées 3 fils, reliées ou non à la terre, il y a lieu d'utiliser uniquement les valeurs pour les réseaux 3 fils. * Pour la relation avec la tension assignée voir 2.2.1. ** Ces valeurs correspondent aux valeurs données au tableau 1.			

Table 3b – Three-phase four or three-wire a.c. systems

Nominal voltage of the supply system*	Voltages rationalized for table 4		
	For insulation line-to-line	For insulation line-to-earth	
	All systems	Three-phase four-wire systems neutral-earthed ²⁾	Three-phase three-wire systems unearthed ¹⁾ or corner-earthed
V	V	V	V
60	63	32	63
110 120 127	125	80	125
150**	160	–	160
208	200	125	200
220 230 240	250	160	250
300**	320	–	320
380 400 415	400	250	400
440	500	250	500
480 500	500	320	500
575	630	400	630
600**	630	–	630
660 690	630	400	630
720 830	800	500	800
960	1 000	630	1 000
1 000**	1 000	–	1 000
1) Line-to-earth insulation level for unearthed or impedance-earthed systems equals that for line-to-line because the operating voltage to earth of any line can, in practice, approach full line-to-line voltage. This is because the actual voltage to earth is determined by the insulation resistance and capacitive reactance of each line to earth; thus, low (but acceptable) insulation resistance of one line can in effect earth it and raise the other two to full line-to-line voltage to earth. 2) For equipment for use on both three-phase four-wire and three-phase three-wire supplies, earthed and unearthed, use the values for three-wire systems only. * For relationship to rated voltage see 2.2.1. ** These values correspond to the values given in table 1.			

Tableau 4 – Lignes de fuite minimales en millimètres pour les matériels soumis à des contraintes de longue durée

Tension valeur efficace ¹⁾ V	Lignes de fuite en millimètres											
	Matériaux pour circuits imprimés		Degré de pollution									
	1	2	1	2			3			4		
	Groupe de matériaux		Groupe de matériaux		Groupe de matériaux		Groupe de matériaux		Groupe de matériaux		Groupe de matériaux	
	2)	3)	2)	I	II	III	I	II	III ⁴⁾	I	II	III ⁴⁾
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
10	0,025	0,04	0,08	0,4	0,4	0,4	1	1	1	1,6	1,6	1,6
12,5	0,025	0,04	0,09	0,42	0,42	0,42	1,0	1,05	1,05	1,6	1,6	1,6
16	0,025	0,04	0,1	0,45	0,45	0,45	1,1	1,1	1,1	1,6	1,6	1,6
20	0,025	0,04	0,11	0,48	0,48	0,48	1,2	1,2	1,2	1,6	1,6	1,6
25	0,025	0,04	0,125	0,5	0,5	0,5	1,2	1,25	1,25	1,7	1,7	1,7
32	0,025	0,04	0,14	0,53	0,53	0,53	1,3	1,3	1,3	1,8	1,8	1,8
40	0,025	0,04	0,16	0,56	0,8	1,1	1,4	1,6	1,8	1,9	2,4	3
50	0,025	0,04	0,18	0,6	0,85	1,2	1,5	1,7	1,9	2	2,5	3,2
63	0,04	0,063	0,2	0,63	0,9	1,25	1,6	1,8	2	2,1	2,6	3,4
80	0,063	0,1	0,22	0,67	0,95	1,3	1,7	1,9	2,1	2,2	2,8	3,6
100	0,1	0,16	0,25	0,71	1	1,4	1,8	2	2,2	2,4	3	3,8
125	0,16	0,25	0,28	0,75	1,05	1,5	1,9	2,1	2,4	2,5	3,2	4
160	0,25	0,4	0,32	0,8	1,1	1,6	2	2,2	2,5	3,2	4	5
200	0,4	0,63	0,42	1	1,4	2	2,5	2,8	3,2	4	5	6,3
250	0,56	1	0,56	1,25	1,8	2,5	3,2	3,6	4	5	6,3	8
320	0,75	1,6	0,75	1,6	2,2	3,2	4	4,5	5	6,3	8	10
400	1	2	1	2	2,8	4	5	5,6	6,3	8	10	12,5
500	1,3	2,5	1,3	2,5	3,6	5	6,3	7,1	8	10	12,5	16
630	1,8	3,2	1,8	3,2	4,5	6,3	8	9	10	12,5	16	20
800	2,4	4	2,4	4	5,6	8	10	11	12,5	16	20	25
1 000	3,2	5	3,2	5	7,1	10	12,5	14	16	20	25	32
1 250			4,2	6,3	9	12,5	16	18	20	25	32	40
1 600			5,6	8	11	16	20	22	25	32	40	50
2 000			7,5	10	14	20	25	28	32	40	50	63
2 500			10	12,5	18	25	32	36	40	50	63	80
3 200			12,5	16	22	32	40	45	50	63	80	100
4 000			16	20	28	40	50	56	63	80	100	125
5 000			20	25	36	50	63	71	80	100	125	160
6 300			25	32	45	63	80	90	100	125	160	200
8 000			32	40	56	80	100	110	125	160	200	250
10 000			40	50	71	100	125	140	160	200	250	320

1) Cette tension est:

- pour l'isolation fonctionnelle:
la tension locale;
- pour l'isolation principale et l'isolation supplémentaire du circuit alimenté directement par le réseau (voir 2.2.1.1.1):
la tension rationalisée par l'intermédiaire des tableaux 3a et 3b, fondés sur la tension assignée du matériel ou la tension assignée d'isolement;
- pour l'isolation principale et l'isolation supplémentaire de réseaux, de matériels ou de circuits internes non directement alimentés par le réseau (voir 2.2.1.1.2):
la valeur efficace la plus élevée de la tension pouvant apparaître dans le réseau, le matériel ou le circuit interne lorsque ces derniers sont alimentés sous la tension assignée et dans la combinaison des conditions d'emploi les plus sévères prévues aux caractéristiques assignées du matériel.

2) Groupes de matériaux I, II, IIIa et IIIb.

3) Groupes de matériaux I, II et IIIa.

4) Le groupe de matériaux IIIb n'est pas recommandé pour les applications en degré de pollution 3 au-dessus de 630 V et en degré de pollution 4.

Table 4 – Minimum creepage distances for equipment subject to long-term stresses

Voltage r.m.s. ¹⁾	Creepage distances in millimetres											
	Printed wiring material		Pollution degree									
	Pollution degree											
	1	2	1	2			3			4		
	2)	3)	2)	Material group			Material group			Material group		
V	mm	mm	mm	I	II	III	I	II	III ⁴⁾	I	II	III ⁴⁾
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
10	0,025	0,04	0,08	0,4	0,4	0,4	1	1	1	1,6	1,6	1,6
12,5	0,025	0,04	0,09	0,42	0,42	0,42	1,0	1,05	1,05	1,6	1,6	1,6
16	0,025	0,04	0,1	0,45	0,45	0,45	1,1	1,1	1,1	1,6	1,6	1,6
20	0,025	0,04	0,11	0,48	0,48	0,48	1,2	1,2	1,2	1,6	1,6	1,6
25	0,025	0,04	0,125	0,5	0,5	0,5	1,2	1,25	1,25	1,7	1,7	1,7
32	0,025	0,04	0,14	0,53	0,53	0,53	1,3	1,3	1,3	1,8	1,8	1,8
40	0,025	0,04	0,16	0,56	0,8	1,1	1,4	1,6	1,8	1,9	2,4	3
50	0,025	0,04	0,18	0,6	0,85	1,2	1,5	1,7	1,9	2	2,5	3,2
63	0,04	0,063	0,2	0,63	0,9	1,25	1,6	1,8	2	2,1	2,6	3,4
80	0,063	0,1	0,22	0,67	0,95	1,3	1,7	1,9	2,1	2,2	2,8	3,6
100	0,1	0,16	0,25	0,71	1	1,4	1,8	2	2,2	2,4	3	3,8
125	0,16	0,25	0,28	0,75	1,05	1,5	1,9	2,1	2,4	2,5	3,2	4
160	0,25	0,4	0,32	0,8	1,1	1,6	2	2,2	2,5	3,2	4	5
200	0,4	0,63	0,42	1	1,4	2	2,5	2,8	3,2	4	5	6,3
250	0,56	1	0,56	1,25	1,8	2,5	3,2	3,6	4	5	6,3	8
320	0,75	1,6	0,75	1,6	2,2	3,2	4	4,5	5	6,3	8	10
400	1	2	1	2	2,8	4	5	5,6	6,3	8	10	12,5
500	1,3	2,5	1,3	2,5	3,6	5	6,3	7,1	8	10	12,5	16
630	1,8	3,2	1,8	3,2	4,5	6,3	8	9	10	12,5	16	20
800	2,4	4	2,4	4	5,6	8	10	11	12,5	16	20	25
1 000	3,2	5	3,2	5	7,1	10	12,5	14	16	20	25	32
1 250			4,2	6,3	9	12,5	16	18	20	25	32	40
1 600			5,6	8	11	16	20	22	25	32	40	50
2 000			7,5	10	14	20	25	28	32	40	50	63
2 500			10	12,5	18	25	32	36	40	50	63	80
3 200			12,5	16	22	32	40	45	50	63	80	100
4 000			16	20	28	40	50	56	63	80	100	125
5 000			20	25	36	50	63	71	80	100	125	160
6 300			25	32	45	63	80	90	100	125	160	200
8 000			32	40	56	80	100	110	125	160	200	250
10 000			40	50	71	100	125	140	160	200	250	320

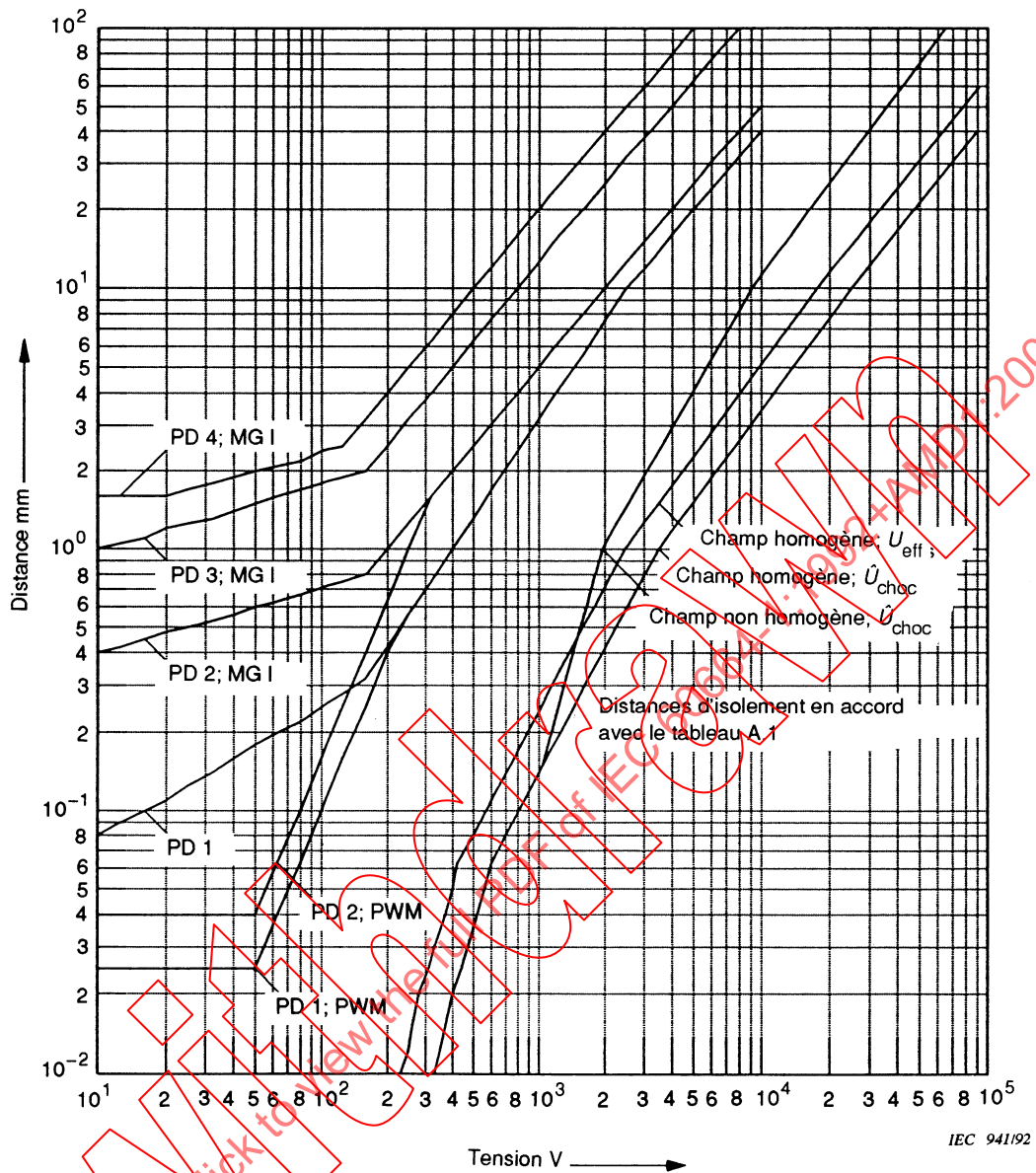
1) This voltage is:

- for functional insulation: the working voltage;
- for basic and supplementary insulation of the circuit energized directly from the low-voltage mains (see 2.2.1.1.1): the voltage rationalized through table 3a and 3b, based on the rated voltage of the equipment, or the rated insulation voltage;
- for basic and supplementary insulation of systems, equipment and internal circuits not energized directly from the low-voltage mains (see 2.2.1.1.2): the highest r.m.s. voltage which can occur in the system, equipment or internal circuit when supplied at rated voltage and under the most onerous combination of conditions of operation within equipment rating.

2) Material groups I, II, IIIa and IIIb.

3) Material groups I, II and IIIa.

4) Material group IIIb is not recommended for application in pollution degree 3 above 630 V and in pollution degree 4.



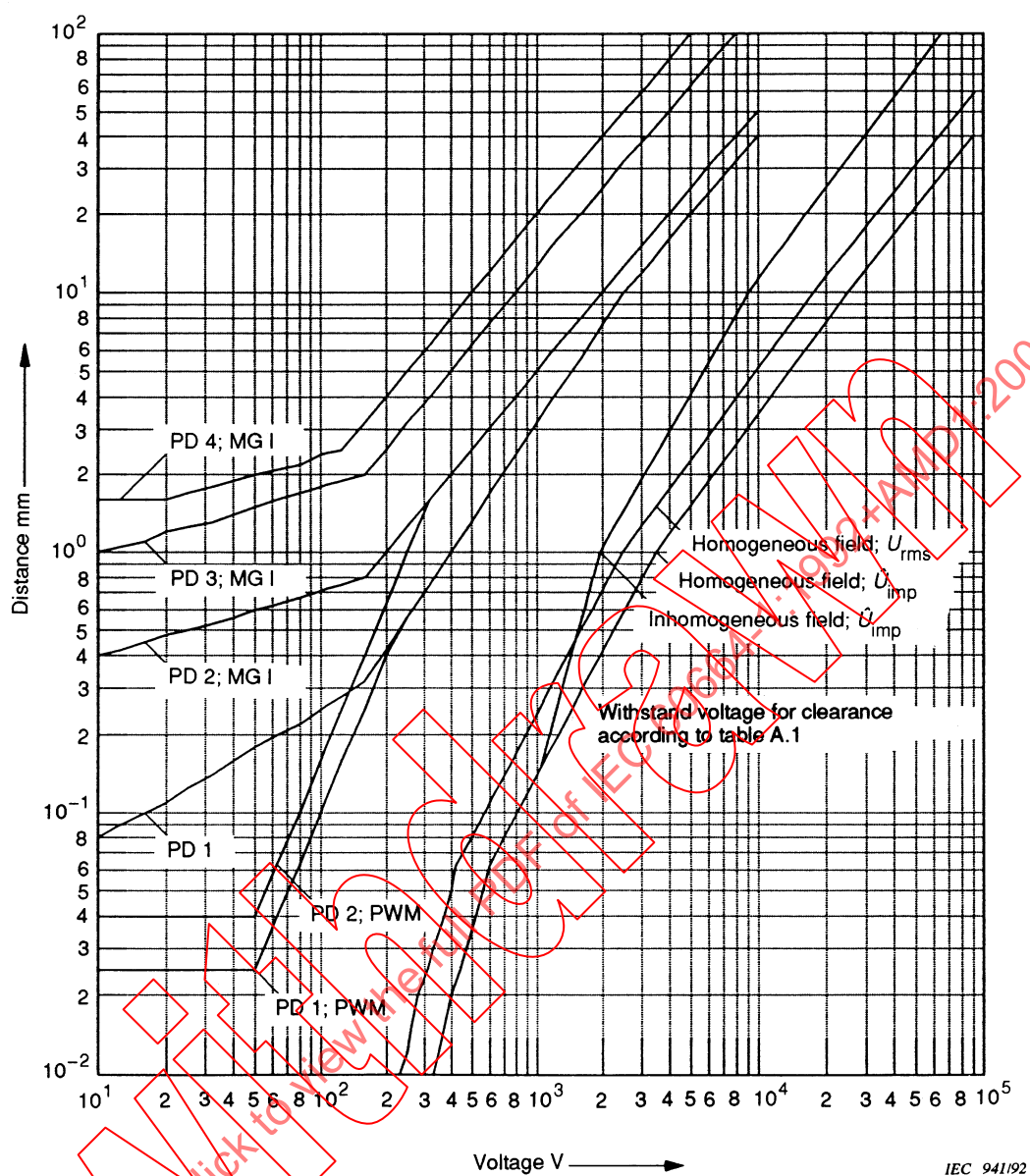
PD = degré de pollution

MG = groupe de matériau

PWM = matériaux pour circuits imprimés

NOTE Pour des raisons de comparaison, les distances d'isolement sont ajoutées.

Figure 1 – Détermination de lignes de fuite à partir de la tension et du degré de pollution pour le groupe de matériaux I



PD = pollution degree

MG = material group

PWM = printed wiring material

NOTE For the purpose of comparison, clearances are added.

Figure 1 – Determination of creepage distances from voltage and pollution degree for material group I

3.3 Prescriptions pour la conception de l'isolation solide

3.3.1 Généralités

Etant donné que la rigidité diélectrique d'une isolation solide est considérablement plus importante que celle de l'air, il est permis d'y prêter une moindre attention pendant la conception de systèmes d'isolation à basse tension. D'autre part, les distances d'isolement à travers la matière isolante solide sont, en règle générale, très inférieures aux distances d'isolement dans l'air, ce qui donne lieu à des contraintes électriques importantes. Il faut également considérer le fait que, dans la pratique, la rigidité diélectrique élevée d'un matériau est rarement utilisée. Dans les systèmes d'isolation, des entrefers peuvent se produire entre les électrodes et l'isolation d'une part, et entre les différentes couches d'isolation d'autre part, ou bien des soufflures peuvent être présentes dans le matériau isolant. Des décharges partielles peuvent se produire dans ces entrefers ou dans ces soufflures, à des tensions bien en dessous du niveau de perforation, ce qui risque d'affecter de façon décisive la longévité de l'isolation solide. Cependant, il est peu vraisemblable de voir des décharges partielles pour des tensions crêtes inférieures à 500 V.

Un autre point crucial réside dans le fait que, comparativement aux gaz, l'isolation solide n'est pas un support renouvelable, si bien que des crêtes de tensions élevées, susceptibles de se produire quelquefois, peuvent avoir un effet très néfaste sur l'isolation solide. Une telle situation peut se présenter pendant le fonctionnement ou lors des essais diélectriques individuels.

Un certain nombre d'influences néfastes s'accumule tout au long de la durée de fonctionnement d'une isolation solide. Ces influences suivent des étapes complexes avant d'aboutir au vieillissement. Par conséquent, les contraintes électriques et autres (par exemple thermiques, climatiques) superposent leurs effets et contribuent au vieillissement.

Il convient de simuler les performances à long terme d'une isolation solide par un essai à court terme. Le but est d'y parvenir par un conditionnement adapté.

Si l'isolation solide est soumise à des fréquences élevées, les pertes diélectriques de l'isolation solide et les décharges partielles deviennent de plus en plus importantes. Cette situation a été observée dans des sources de puissance commutées où l'isolation est soumise à des crêtes de tensions répétitives, à des fréquences pouvant atteindre 500 kHz.

Il n'y a en général pas de relation entre l'épaisseur d'un matériau isolant solide et les mécanismes de défaillance mentionnés ci-dessus et, par conséquent, les qualités d'un matériau isolant solide ne peuvent être évaluées que par des essais. Il n'est pas approprié de spécifier l'épaisseur minimale de l'isolation solide pour obtenir la rigidité diélectrique à long terme.

3.3.2 Contraintes

On distingue deux types de contraintes appliquées à l'isolation solide:

- les contraintes à court terme;
- les contraintes à long terme.

D'autres contraintes (se reporter à 3.3.2.3), différentes de celles décrites en 3.3.2.1 et 3.3.2.2 ci-dessous, peuvent être appliquées à l'isolation solide en cours d'utilisation.

3.3 Requirements for design of solid insulation

3.3.1 General

As the electric strength of solid insulation is considerably greater than that of air, it may receive little attention during the design of low-voltage insulation systems. On the other hand, the insulating distances through solid insulating material are, as a rule, much smaller than the clearances so that high electric stresses result. Another point to be considered is that the high electric strength of material is seldom made use of in practice. In insulation systems gaps may occur between electrodes and insulation and between different layers of insulation, or voids may be present in the insulation. Partial discharges can occur in these gaps or voids at voltages far below the level of puncture and this may influence decisively the service life of the solid insulation. However, partial discharges are unlikely to occur below a peak voltage of 500 V.

Of equally fundamental importance is the fact that solid insulation, as compared with gases, is not a renewable insulating medium so that, for example, high voltage peaks which may occur infrequently can have a very damaging effect on solid insulation. This situation can occur while in service and during routine high-voltage testing.

A number of detrimental influences accumulate over the service life of solid insulation. These follow complex patterns and result in ageing. Therefore, electrical and other stresses (e.g. thermal, environmental) are superimposed and contribute to ageing.

The long-term performance of solid insulation can be simulated by a short-term test in combination with suitable conditioning.

If solid insulation is subjected to high frequencies, the dielectric losses of solid insulation and partial discharges become increasingly important. This condition has been observed in switched-mode power supplies where the insulation is subjected to repetitive voltage peaks at frequencies up to 500 kHz.

There is no general relationship between the thickness of solid insulation to the aforesaid failure mechanisms, therefore the performance of solid insulation can only be assessed by testing. It is not appropriate to specify the minimum thickness of solid insulation to achieve long-term electric withstand capability.

3.3.2 Stresses

The stresses applied to solid insulation are divided into:

- short-term;
- long-term.

Other stresses, see 3.3.2.3, than those listed in 3.3.2.1 and 3.3.2.2 below may be applied to solid insulation in use.

3.3.2.1 Les contraintes à court terme et leurs effets

3.3.2.1.1 Tension

La rigidité diélectrique est fortement influencée par la fréquence de la tension. L'échauffement diélectrique et la probabilité d'instabilité thermique augmentent de façon approximativement proportionnelle à la fréquence. La contrainte de champ de claquage d'une isolation classique, mesurée à fréquence industrielle conformément à la CEI 60243-1 pour un spécimen de 3 mm d'épaisseur, est comprise entre 10 kV/mm et 40 kV/mm. L'augmentation de la fréquence entraînera une réduction de la rigidité diélectrique de la plupart des matériaux isolants.

NOTE Des indications supplémentaires concernant l'influence des fréquences élevées sont à l'étude.

3.3.2.1.2 Echauffement

L'échauffement est capable de provoquer

- une déformation mécanique due à la relaxation d'une contrainte interne;
- un ramollissement des thermoplastiques pour des échauffements relativement peu élevés, par exemple températures au-dessus de 60 °C;
- fragilisation de certains matériaux due à une perte de plastifiant;
- ramollissement de certains matériaux réticulés, notamment si la température de transition vitreuse du matériau est dépassée;
- pertes diélectriques accrues entraînant instabilité thermique et défaillance.

Les variations rapides de température, par exemple pendant les court-circuits, sont susceptibles de provoquer une défaillance mécanique.

3.3.2.1.3 Choc mécanique

En cas de résistance insuffisante aux chocs, un choc mécanique est susceptible de provoquer une défaillance de l'isolation. Une défaillance, sous l'effet d'un choc mécanique, pourrait aussi se produire en raison de la diminution de la résistance aux chocs des matériaux:

- due au matériau devenu fragile si sa température est passée en dessous de sa température de transition vitreuse;
- après une exposition prolongée sous une température élevée ayant entraîné une perte de plastifiant ou une détérioration du polymère de base.

Les Comités d'Etudes doivent tenir compte de tous ces points lors de la spécification des conditions ambiantes relatives au transport, au stockage, à l'installation et à l'utilisation.

3.3.2.2 Contraintes à long terme et leurs effets

3.3.2.2.1 Décharges partielles (DP)

Dans l'air, des décharges partielles peuvent se produire à des tensions de crête supérieures à 300 V (le minimum de Paschen). Dans la pratique, il est peu probable que cela puisse se produire en dessous de 500 V. La défaillance se produit par érosion progressive et/ou par arborescence, conduisant à une perforation ou à un contournement.

Les systèmes d'isolation peuvent avoir des propriétés différentes: certains sont capables de supporter des décharges tout au long de leur durée de vie prévue (par exemple isolateurs en céramique), alors que d'autres doivent être impérativement exempts de toute décharge (par exemple les condensateurs). La tension, la fréquence de répétition des décharges et l'amplitude des décharges constituent des paramètres importants.

3.3.2.1 Short-term stresses and their effects

3.3.2.1.1 Voltage

The electric strength is greatly influenced by the frequency of the applied voltage. Dielectric heating and the probability of thermal instability increase approximately in proportion to the frequency. The breakdown field strength of insulation having a thickness of 3 mm when measured at power frequency according to IEC 60243-1 is between 10 kV/mm and 40 kV/mm. Increasing the frequency will reduce the electric strength of most insulating materials.

NOTE Further guidance on the influence of higher frequencies is under consideration.

3.3.2.1.2 Heating

Heating can cause

- mechanical distortion due to the release of locked-in stress;
- softening of thermoplastics at comparatively low temperature-rise above ambient, for example temperatures above 60 °C;
- embrittlement of some materials due to loss of plasticiser;
- softening of some cross-linked materials particularly if the glass transition temperature of the material is exceeded;
- increased dielectric losses leading to thermal instability and failure.

High temperature gradients, for example during short-circuits, may cause mechanical failure.

3.3.2.1.3 Mechanical shock

In the case of inadequate impact strength, mechanical shock may cause insulation failure. Failure from mechanical shock could also occur due to reduced impact strength of materials:

- due to material becoming brittle when the temperature falls below its glass transition temperature;
- after prolonged exposure to high temperature that has caused loss of plasticiser or degradation of the base polymer.

Technical Committees shall consider this when specifying environmental conditions for transportation, storage, installation and use.

3.3.2.2 Long-term stresses and their effects

3.3.2.2.1 Partial discharges (PD)

In air, partial discharges (PD) can occur at peak voltages in excess of 300 V (the Paschen minimum). In practice they are unlikely to occur below 500 V. Failure is by gradual erosion or treeing leading to puncture or surface flashover.

Insulation systems have different properties: some can tolerate discharges throughout their anticipated life (e.g. ceramic insulators), while others have to be discharge-free (e.g. capacitors). Voltage, repetition rate of discharges and discharge magnitude are important parameters.

On suppose que le comportement des DP est influencé par la fréquence de la tension appliquée. Des essais de vieillissement accéléré par augmentation de la fréquence ont permis d'établir que le temps nécessaire pour aboutir à une défaillance est approximativement inversement proportionnel à la fréquence de la tension appliquée. Cependant, les expériences pratiques relatives aux DP ne concernent que des fréquences maximales de 5 kHz car, à des fréquences plus élevées, d'autres mécanismes de défaillance sont également susceptibles d'apparaître, par exemple échauffement diélectrique.

NOTE L'influence de la fréquence sur le seuil de DP et sur la tension d'extinction de DP est à l'étude.

3.3.2.2.2 Echauffement

L'échauffement entraîne une détérioration de l'isolation, par exemple par évaporation, oxydation ou d'autres modifications chimiques à long terme. Cependant la défaillance finale est souvent mécanique (exemple fragilisation) et conduit à une fissuration et à une rupture diélectrique. Ce mécanisme est un processus continu qu'il n'est pas possible de simuler par un essai de courte durée, car plusieurs milliers d'heures d'essai seraient nécessaires (se reporter à la CEI 60216).

3.3.2.2.3 Contraintes mécaniques

Les contraintes mécaniques dues aux vibrations en cours de fonctionnement ou les contraintes produites durant le stockage ou le transport peuvent provoquer un délaminage, une fissuration ou la rupture du matériau isolant.

3.3.2.2.4 Humidité

La présence de vapeur d'eau peut influencer la résistance d'isolement et sur la tension d'extinction de décharge, accentuer l'effet de contamination superficielle, provoquer la corrosion et entraîner des variations dimensionnelles. Un taux d'humidité élevé entraînera une diminution significative de la rigidité diélectrique de certains matériaux. Un faible taux d'humidité peut, dans certains cas, être défavorable, par exemple en augmentant la capacité de conservation des charges électrostatiques et en diminuant la résistance mécanique de certains matériaux, tels que le polyamide.

3.3.2.3 Autres contraintes

Beaucoup d'autres contraintes sont en mesure de détériorer l'isolation et doivent être prises en compte par les Comités d'Etudes.

Parmi ces contraintes, il est possible de citer:

- les radiations ultraviolettes et ionisantes;
- le craquellement ou la fissuration provoqués par une exposition à des solvants ou à des agents chimiques actifs;
- l'effet lié à la migration des plastifiants;
- l'effet des bactéries, des moisissures ou des champignons;
- fluage mécanique.

L'effet de ces contraintes est de moindre importance ou elles s'appliquent moins souvent mais nécessitent d'être prises en compte dans des cas particuliers.

It is assumed that the PD behaviour is influenced by the frequency of the applied voltage. It is established from accelerated life tests at increased frequency that the time to failure is approximately inversely proportional to the frequency of the applied voltage. However, practical experience only covers frequencies up to 5 kHz since, at higher frequencies, other failure mechanisms may also be present, for example dielectric heating.

NOTE The influence of frequency on the PD inception voltage and PD extinction voltage is under investigation.

3.3.2.2.2 Heating

Heating causes degradation of the insulation, for example, by volatilization, oxidation or other long-term chemical changes. However, failure is often due to mechanical reasons, for example embrittlement, leading to cracking and electric breakdown. This process is continuous and cannot be simulated by short-time testing since several thousand hours testing time would be required (see IEC 60216).

3.3.2.2.3 Mechanical stresses

Mechanical stresses caused by vibration or shock during operation, storage or transportation may cause delamination, cracking or breaking-up of the insulating material.

3.3.2.2.4 Humidity

The presence of water vapour can influence the insulation resistance and the discharge extinction voltage, aggravate the effect of surface contamination, produce corrosion and dimensional changes. For some materials, high humidity will significantly reduce the electric strength. Low humidity can be unfavourable in some circumstances, for example by increasing the retention of electrostatic charge and by decreasing the mechanical strength of some materials, such as polyamide.

3.3.2.3 Other stresses

Many other stresses can damage insulation and will have to be taken into account by Technical Committees.

Examples of such stresses are:

- radiation, both ultraviolet and ionizing;
- stress-crazing or stress-cracking caused by exposure to solvents or active chemicals;
- the effect of migration of plasticizers;
- the effect of bacteria, moulds or fungi;
- mechanical creep.

The effect of these stresses is of less importance or they will apply less often but require consideration in particular cases.

3.3.3 Prescriptions

3.3.3.1 Généralités

L'isolant solide de l'isolation principale, de l'isolation supplémentaire et de l'isolation renforcée doit être capable de supporter durablement les contraintes électriques et mécaniques ainsi que les effets thermiques et d'environnement susceptibles de se produire pendant la durée de vie escomptée des matériels.

NOTE 1 Lors de la prise en compte des contraintes électriques de surfaces accessibles en isolation solide, de telles surfaces sont supposées être recouvertes d'une feuille métallique. De plus amples détails peuvent être spécifiés par les Comités d'Etudes.

NOTE 2 Des prescriptions précises concernant l'isolation fonctionnelle sont à l'étude.

Dans les cas où les tensions locales ne sont pas sinusoïdales et qu'elles présentent des crêtes répétitives, une attention particulière doit être prêtée à l'apparition d'éventuelles décharges partielles. De la même manière, lorsque l'existence de couches d'isolation et la présence de soufflures dans le matériau isolant moulé ne sont pas exclues, une attention particulière doit être prêtée à l'apparition d'éventuelles décharges partielles susceptibles de détériorer l'isolation solide.

3.3.3.2 Tenue aux contraintes de tension

Les Comités d'Etudes doivent spécifier quelles caractéristiques assignées de tension sont appropriées à leurs matériels.

3.3.3.2.1 Surtensions transitoires

L'isolation principale et l'isolation supplémentaire doivent avoir:

- une prescription relative à la tension de tenue aux chocs correspondant à la tension d'alimentation nominale et à la catégorie de surtension appropriée, conformément au tableau 1 (voir 2.2.2.2), ou
- une tension de tenue aux chocs, relative à un circuit interne d'un matériel, qui a été spécifiée conformément aux surtensions transitoires prévisibles dans le circuit (voir 2.2.2.3).

L'isolation renforcée doit avoir une tension de tenue aux chocs correspondant à la tension assignée de tenue aux chocs mais un cran plus haut dans la série préférentielle de valeurs en 2.1.1.2 que celle spécifiée pour l'isolation principale. Si, conformément à 2.2.2.3.2, la tension de tenue aux chocs prescrite pour l'isolation principale n'est pas une valeur de la série préférentielle, l'isolation renforcée doit être dimensionnée pour supporter 160 % de la valeur prescrite pour l'isolation principale.

Pour ce qui concerne la vérification par des essais, se reporter à 4.1.2.2.

3.3.3.2.2 Surtensions temporaires

L'isolation solide principale et supplémentaire doit supporter les surtensions temporaires suivantes:

- les surtensions temporaires de courte durée d'amplitude $U_n + 1\,200\text{ V}$, avec une durée inférieure à 5 s;
- les surtensions temporaires de longue durée d'amplitude $U_n + 250\text{ V}$, avec une durée supérieure à 5 s.

NOTE 1 U_n est la tension nominale phase neutre du réseau d'alimentation avec neutre à la terre.

NOTE 2 Ces valeurs sont issues de la CEI 60364-4-442.

NOTE 3 Des prescriptions pour l'isolation renforcée sont à l'étude.

Pour la vérification au moyen d'essais voir 4.1.2.3.

3.3.3 Requirements

3.3.3.1 General

Solid insulation of basic, supplementary and reinforced insulation shall be capable of durably withstanding electrical and mechanical stresses as well as thermal and environmental influences which may occur during the anticipated life of the equipment.

NOTE 1 When considering electrical stresses to accessible surfaces of solid insulation, such surfaces are assumed to be covered by metal foil. Further details can be specified by Technical Committees.

NOTE 2 Explicit requirements for functional insulation are under consideration.

In those instances where working voltages are non-sinusoidal with periodically recurring peaks, special consideration shall be given to possible occurrence of partial discharges. Similarly, where insulation layers may exist and where voids in moulded insulation may exist, consideration shall be given to possible occurrence of partial discharges with resultant degradation of solid insulation.

3.3.3.2 Withstand of voltage stresses

Technical Committees shall specify which voltage ratings are to be assigned to their equipment.

3.3.3.2.1 Transient overvoltages

Basic and supplementary insulation shall have

- an impulse withstand voltage requirement corresponding to the nominal of the mains voltage and the relevant overvoltage category according to table 1 (see 2.2.2.2), or
- an impulse withstand voltage of an internal circuit of an equipment which has been specified according to the transient overvoltages to be expected in the circuit (see 2.2.2.3).

Reinforced insulation shall have an impulse withstand voltage corresponding to the rated impulse voltage but one step higher in the preferred series of values in 2.1.1.2 than that specified for basic insulation. If, according to 2.2.2.3.2, the impulse withstand voltage required for basic insulation is other than a value taken from the preferred series, reinforced insulation shall be dimensioned to withstand 160 % of the value required for basic insulation.

For verification by testing see 4.1.2.2.

3.3.3.2.2 Temporary overvoltages

Basic and supplementary solid insulation shall withstand the following temporary overvoltages:

- the short-term temporary overvoltage of $U_n + 1\,200\text{ V}$ with durations up to 5 s;
- the long-term temporary overvoltage of $U_n + 250\text{ V}$ with durations longer than 5 s.

NOTE 1 U_n is the nominal line-to-neutral voltage of the neutral-earthed supply system.

NOTE 2 These values are specified in IEC 60364-4-442.

NOTE 3 Requirements for reinforced insulation are under consideration.

For verification by testing see 4.1.2.3.

3.3.3.2.3 Tensions de crête répétitive

Il est possible de supposer provisoirement que les tensions de crête répétitives maximales du réseau d'alimentation sont égales à $F_4 \times \sqrt{2} U_n$, c'est-à-dire à 1,1 fois la valeur de crête de U_n . En cas de présence de tensions de crête répétitive, la tension d'extinction de décharge doit être au moins égale à:

- $F_1 \times F_4 \times \sqrt{2} U_n$, c'est-à-dire $1,32 \sqrt{2} U_n$ pour l'isolation principale et pour l'isolation supplémentaire, et
- $F_1 \times F_3 \times F_4 \times \sqrt{2} U_n$, c'est-à-dire $1,65 \sqrt{2} U_n$ pour l'isolation renforcée.

NOTE $\sqrt{2} U_n$ est, dans les réseaux avec neutre à la terre, la valeur de crête de la tension phase-neutre fondamentale (non déformée) à la tension nominale du réseau d'alimentation secteur. L'application des facteurs de multiplication utilisés dans le paragraphe ci-dessus est décrite en D.4 de l'annexe D.

Pour explication des facteurs F , voir 4.1.2.4.

Dans les circuits internes, il est nécessaire d'évaluer les tensions de crête répétitive les plus élevées à la place de $F_4 \times \sqrt{2} U_n$ et l'isolation solide doit également satisfaire aux exigences correspondantes.

Pour ce qui concerne la vérification par essais, se reporter à 4.1.2.4.

3.3.3.2.4 Tension à haute fréquence

Pour les tensions ayant des fréquences supérieures à la fréquence industrielle, il est nécessaire de tenir compte de l'influence de la fréquence au sens de 3.3.2.1.1 et de 3.3.2.2.1. Dans le cadre de la présente norme, les fréquences supérieures à 1 kHz doivent être considérées comme des fréquences élevées.

Les Comités d'Etudes doivent spécifier si un essai conforme à 4.1.2.5 est nécessaire.

3.3.3.3 Tenue aux contraintes thermiques à court terme

L'isolation solide ne doit pas être affectée par des contraintes thermiques à court terme qui peuvent se produire en cours d'utilisation normale et, le cas échéant, en cours d'utilisation anormale. Les Comités d'Etudes peuvent spécifier des niveaux de sévérité.

NOTE Des niveaux de sévérité normalisés sont spécifiés dans la CEI 60068.

3.3.3.4 Tenue aux contraintes mécaniques

L'isolation solide ne doit pas être affectée par une vibration ou un choc mécanique susceptible de se produire en cours d'utilisation. Les Comités d'Etudes peuvent spécifier des niveaux de sévérité.

NOTE Des niveaux de sévérité normalisés sont spécifiés dans la CEI 60068.

3.3.3.5 Tenue aux contraintes thermiques à long terme

La dégradation thermique d'une isolation solide ne doit pas affecter la coordination de l'isolement, pendant la durée de vie escomptée des matériels. Les Comités d'Etudes doivent spécifier si l'exécution d'un essai est nécessaire. (Se reporter également à la CEI 60085 et à la CEI 60216.)

3.3.3.6 Tenue aux effets de l'humidité

La coordination de l'isolement doit être maintenue sous les conditions d'humidité, conformément aux prescriptions relatives aux matériels. (Se reporter également à 4.1.2.1.)

3.3.3.2.3 Recurring peak voltages

The maximum recurring peak voltages occurring on the low-voltage mains can be assumed provisionally to be $F_4 \times \sqrt{2} U_n$, i.e. 1,1 times the peak value at U_n . Where recurring peak voltages are present, the discharge extinction voltage shall be at least:

- $F_1 \times F_4 \times \sqrt{2} U_n$, i.e. $1,32 \sqrt{2} U_n$ for each basic and supplementary insulation, and
- $F_1 \times F_3 \times F_4 \times \sqrt{2} U_n$, i.e. $1,65 \sqrt{2} U_n$ for reinforced insulation.

NOTE $\sqrt{2} U_n$ is in neutral-earthed systems the peak value of the line-to neutral fundamental (undistorted) voltage at nominal voltage of mains. The application of the multiplying factors used in this subclause is described in D.4 of annex D.

For explanation of factors F , see 4.1.2.4.

In internal circuits, the highest recurring peak voltages have to be evaluated in place of $F_4 \times \sqrt{2} U_n$ and solid insulation shall meet the requirements correspondingly.

For verification by testing see 4.1.2.4.

3.3.3.2.4 High-frequency voltage

For voltages with frequencies above power frequency, the influence of frequency according to 3.3.2.1.1 and 3.3.2.2.1 shall be taken into account. Frequencies above 1 kHz shall be considered as high frequencies within the scope of this standard.

Technical Committees shall specify whether a test according to 4.1.2.5 is necessary.

3.3.3.3 Withstand of short-term heating stresses

Solid insulation shall not be impaired by short-term heating stresses which may occur in normal and, where appropriate, abnormal use. Technical Committees may specify severity levels.

NOTE Standard severity levels are specified in IEC 60068

3.3.3.4 Withstand of mechanical stresses

Solid insulation shall not be impaired by mechanical vibration or shock which can be expected in use. Technical Committees may specify severity levels.

NOTE Standard severity levels are specified in IEC 60068.

3.3.3.5 Withstand of long-term heating stresses

Thermal degradation of solid insulation shall not impair insulation coordination during the anticipated life of the equipment. Technical Committees shall specify whether a test is necessary. (See also IEC 60085 and IEC 60216.)

3.3.3.6 Withstand of the effects of humidity

Insulation coordination shall be maintained under the humidity conditions as specified for the equipment. (See also 4.1.2.1.)

3.3.3.7 Tenue aux autres contraintes

Les matériels peuvent être soumis à d'autres contraintes, comme celles indiquées, par exemple, en 3.3.2.3, qui peuvent influencer sur la coordination de l'isolement. Les Comités d'Etudes doivent définir ces contraintes et spécifier les méthodes d'essai.

SECTION 4: ESSAIS ET MESURES

4.1 Essais

4.1.1 Essai pour la vérification des distances dans l'air

4.1.1.1 Généralités

Lorsqu'un matériel électrique est soumis à des essais diélectriques pour vérifier les distances dans l'air, les tensions d'essai doivent être en accord avec les prescriptions de tension de tenue aux chocs pour la coordination de l'isolement spécifiées à l'article 3.1. Comme indiqué en 3.1.2, un essai de tension de choc est uniquement exigé pour des distances dans l'air inférieures aux valeurs du cas A du tableau 2.

NOTE 1 L'essai diélectrique des distances dans l'air contraindra aussi l'isolation solide associée.

NOTE 2 Pour la relation entre distances dans l'air et lignes de fuite (voir 3.2.1.5).

NOTE 3 La capacité de tenue des distances dans l'air inférieures aux valeurs du cas A (qui sont relatives aux conditions de champ non homogène) peut uniquement être vérifiée par essai. La capacité de tenue des distances dans l'air égales ou supérieures à celles du cas A peut être vérifiée par mesurage ou par essai.

4.1.1.2 Tensions d'essai

4.1.1.2.1 Essai diélectrique de choc

Le but de cet essai est de vérifier que les distances dans l'air supporteront les surtensions transitoires spécifiées. L'essai de tenue aux chocs est effectué avec une tension ayant une forme d'onde 1,2/50 μ s (voir figure 6 de la CEI 60060-1) et est prévu pour simuler des surtensions d'origine atmosphérique. Il tient aussi compte des surtensions dues aux manoeuvres de l'appareillage basse tension.

L'essai doit être effectué pour un minimum de trois chocs de chaque polarité, avec un intervalle d'au moins 1 s entre impulsions.

NOTE Sauf indication contraire des Comités d'Etudes, l'impédance de sortie du générateur de choc ne devrait en principe pas être supérieure à 500 Ω . Lors de l'essai d'un matériel comprenant des composants en dérivation sur le circuit d'essai, une impédance de sortie nettement plus faible peut être spécifiée.

Les Comités d'Etudes peuvent spécifier d'autres essais diélectriques, conformément à 4.1.1.2.2.

Lorsque le matériel comporte des dispositifs internes écrêteurs de surtension, le choc doit avoir les caractéristiques suivantes:

- forme d'onde 1,2/50 μ s pour la tension à vide avec des amplitudes égales aux valeurs du tableau 5;
- forme d'onde 8/20 μ s pour un choc de courant approprié.

NOTE La forme d'onde de tension de la source de tension d'essai s'applique que le matériel en essai soit ou non pourvu d'un dispositif écrêteur. Si le matériel est pourvu d'un dispositif écrêteur, l'onde de choc de tension peut être coupée mais le matériel devra être capable de fonctionner encore normalement après l'essai.

Si le matériel n'est pas pourvu d'un dispositif écrêteur et supporte la tension de choc, la forme d'onde ne sera pas déformée de façon notable.

3.3.3.7 Withstand of other stresses

Equipment may be subjected to other stresses, for example as indicated in 3.3.2.3, which may adversely affect solid insulation. Technical Committees shall state such stresses and specify test methods.

SECTION 4: TESTS AND MEASUREMENTS

4.1 Tests

4.1.1 Test for verification of clearances

4.1.1.1 General

When electrical equipment is subjected to electric tests for verifying clearances, the test voltages shall be in accordance with withstand voltage requirements specified in clause 3.1. As stated in 3.1.2, an impulse voltage test is only required for clearances smaller than case A values of table 2.

NOTE 1 The electric testing of clearances will also stress the associated solid insulation.

NOTE 2 For the relationship between clearances and creepage distances (see 3.2.1.5).

NOTE 3 The withstand capability of clearances smaller than case A values (which relate to inhomogeneous field conditions) can only be verified by test. The withstand capability of clearances equal to or larger than case A may be verified by measurement or by test.

4.1.1.2 Test voltages

4.1.1.2.1 Impulse dielectric test

The purpose of this test is to verify that clearances will withstand specified transient overvoltages. The impulse withstand test is carried out with a voltage having a 1,2/50 μ s waveform (see figure 6 of IEC 60060-1) and is intended to simulate overvoltages of atmospheric origin. It also covers overvoltages due to switching of low-voltage equipment.

The test shall be conducted for a minimum of three impulses of each polarity with an interval of at least 1 s between pulses.

NOTE Unless otherwise specified by Technical Committees, the output impedance of the impulse generator should not be higher than 500 Ω . When testing equipment incorporating components across the test circuit, a much lower output impedance may be specified.

Technical Committees may specify alternative dielectric tests according to 4.1.1.2.2.

When surge suppression is provided inside the equipment, the impulse shall have the following characteristics:

- the waveform 1,2/50 μ s for the no-load voltage with amplitudes equal to the values in table 5;
- the waveform 8/20 μ s for an appropriate surge current.

NOTE The voltage waveform of the test voltage source is applicable whether or not the equipment under test is equipped with surge suppression. If the equipment is provided with surge suppression, the impulse voltage wave may be chopped but the equipment should be in a condition to operate normally again after the test.

If the equipment is not provided with surge suppression and it withstands the impulse voltage, the waveform will not be noticeably distorted.

Tableau 5 – Tensions d'essai pour vérifier les distances dans l'air au niveau de la mer

Les valeurs de tension du tableau 5 s'appliquent uniquement pour la vérification des distances dans l'air.

Tension assignée de tenue aux chocs $\bar{U}$ kV	Tension d'essai de choc au niveau de la mer $\bar{U}$ kV
0,33	0,35
0,5	0,55
0,8	0,91
1,5	1,75
2,5	2,95
4,0	4,8
6,0	7,3
8,0	9,8
12,0	14,8

NOTE 1 Les explications concernant les facteurs d'influence (pression de l'air, altitude, température, humidité) relativement aux contraintes diélectriques des distances dans l'air sont données en 4.1.1.2.1.2

NOTE 2 Lors de l'essai des distances dans l'air, l'isolation solide associée sera soumise à la tension d'essai. Comme la tension d'essai de choc du tableau 5 est augmentée par rapport à la tension assignée de choc, l'isolation solide devra être conçue en conséquence. Cela conduit à un accroissement de la capacité de tenue aux chocs de l'isolation solide.

NOTE 3 L'essai peut être effectué à la pression ajustée à la valeur correspondant à l'altitude de 2 000 m (80 kPa) et à 20 °C avec la tension d'essai correspondant à la tension assignée de choc. Dans ce cas, l'isolation solide ne sera pas soumise aux mêmes exigences de tenue que lors d'un essai au niveau de la mer.

4.1.1.2.1.1 Choix de la tension d'essai de choc

Si un essai diélectrique pour la coordination de l'isolement du matériel relativement aux distances dans l'air est exigé (pour des distances dans l'air inférieures à celles du cas A comme spécifié au tableau 2), le matériel doit être essayé avec des tensions d'essai de choc correspondant à sa tension assignée de tenue aux chocs spécifiée conformément à 2.2.2. Les tensions d'essai de choc du tableau 5 sont applicables.

Les Comités d'Etudes peuvent spécifier des valeurs de température et d'humidité pour les conditions d'essai.

Il convient que les Comités d'Etudes étudient si des essais sur prélèvement ou des essais de série doivent être effectués en complément aux essais de type.

4.1.1.2.1.2 Explications relatives au tableau 5

a) Facteurs de correction pour essai de tenue au choc

Conformément à 1.1.1, les valeurs assignées des tensions de tenue aux chocs doivent être valables pour le matériel utilisé jusqu'à 2 000 m au-dessus du niveau de la mer. A 2 000 m, la pression atmosphérique normale est de 80 kPa alors qu'au niveau de la mer, sa valeur est de 101,3 kPa. En conséquence le matériel essayé en des emplacements d'altitude inférieure à 2 000 m est soumis à des tensions d'essai de choc plus élevées. Le tableau 5 donne les valeurs de tension d'essai de choc au niveau de la mer.

La base de calcul des valeurs au niveau de la mer et les données pour déterminer les valeurs d'essai à d'autres emplacements est la suivante:

Table 5 – Test voltages for verifying clearances at sea level

The voltage values of table 5 apply for the verification of clearances only.

Rated impulse voltage $\hat{U}$ kV	Impulse test voltage at sea level $\hat{U}$ kV
0,33	0,35
0,5	0,55
0,8	0,91
1,5	1,75
2,5	2,95
4,0	4,8
6,0	7,3
8,0	9,8
12,0	14,8
NOTE 1 Explanations concerning the influencing factors (air pressure, altitude, temperature, humidity) with respect to electric strength of clearances are given in 4.1.1.2.1.2. NOTE 2 When testing clearances, associated solid insulation will be subjected to the test voltage. As the impulse test voltage of table 5 is increased with respect to the rated impulse voltage, solid insulation will have to be designed accordingly. This results in an increased impulse withstand capability of the solid insulation. NOTE 3 The test may be made with the pressure adjusted to the value corresponding to the altitude of 2 000 m (80 kPa) and 20 °C with the test voltage corresponding to the rated impulse voltage. In this case, solid insulation will not be subjected to the same withstand requirements as when testing at sea level.	

4.1.1.2.1.1 Selection of impulse test voltage

If an electric test for insulation coordination of equipment in respect to clearances is required (for clearances smaller than case A as specified in table 2), the equipment shall be tested with the impulse test voltage corresponding to the rated impulse voltage specified in accordance with 2.2.2. The impulse test voltages of table 5 apply.

For the test conditions, Technical Committees may specify temperature and humidity values.

Technical Committees should consider whether sampling tests or routine tests have to be carried out in addition to type tests.

4.1.1.2.1.2 Explanations to table 5

a) Correction factors for impulse voltage testing

According to 1.1.1, the rated impulse voltage is to be valid for equipment used up to 2 000 m above sea level. At 2 000 m, the normal barometric pressure is 80 kPa, while at sea level the value is 101,3 kPa. Therefore, the equipment tested at locations lower than 2 000 m is tested using higher impulse test voltages. Table 5 gives the impulse test voltage value for sea level.

The basis for the calculation of the sea level values and data for determining test values for other test locations is as follows:

Les facteurs de correction pour l'altitude donnés au tableau A.2 de l'annexe A sont étudiés en rapport avec la courbe de la figure A.1 de l'annexe A. La relation est la suivante:

$$k_u = \left(\frac{1}{k_d} \right)^m$$

où

k_u est le facteur d'altitude pour la correction de tension

k_d est le facteur d'altitude pour la correction de distance

m est la pente du segment de droite approprié de la courbe 1 de la figure A.1 (échelles logarithmiques sur les 2 axes de coordonnées).

Il résulte de l'application des facteurs d'altitude pour la correction des distances que pour la courbe 1 de la figure A.1, les tensions seront changées avec 4 pas différents pour un seul pas de décalage de la distance. La formule mathématique pour cette opération est indiquée ci-dessus. Le tableau 5 inclut ce calcul comme décrit.

Données de base

Altitude m	Facteur k_d pour la correction de distance
0	0,784
200	0,803
500	0,833
1 000	0,844
2 000	1
m :	
0,3262 pour	0,01 < d < 0,0625 mm;
0,6361 pour	0,0625 < d < 1 mm;
0,8539 pour	1 < d < 10 mm;
0,9243 pour	10 < d < 100 mm.

b) *Discussion générale des facteurs influençant la contrainte diélectrique des distances dans l'air*

Les facteurs d'influence sont:

- la pression de l'air;
- la température;
- l'humidité.

La relation entre ces facteurs pour les champs électriques homogènes est la suivante:

$$U_d = 24,41 dK + 6,73 \sqrt{dK}$$

$$K = \frac{p}{101,3} \times \frac{293}{\Delta T + 293}$$

où

U_d est la tension de claquage en kilovolts

d est la distance dans l'air en centimètres $\geq 0,01$ cm

K est la correction pour la pression de l'air et la température

ΔT est la différence en kelvins entre la température ambiante réelle et $T = 20$ °C

p est la pression réelle de l'air en kilopascals

The altitude correction factors given in table A.2 of annex A are considered in relation to the curve of figure A.1 of annex A. The relationship is as follows:

$$k_u = \left(\frac{1}{k_d} \right)^m$$

where

k_u is the altitude factor for voltage correction

k_d is the altitude factor for distance correction

m is the gradient of the relevant straight line in curve 1 in figure A.1 (logarithmic scales on the two coordinate axes).

Applying altitude correction factors for distance correction results in curve 1 of figure A.1, the voltages will be changed with four different steps at only one shifting step for distance. The mathematical formula for this operation is shown above. Table 5 includes this calculation as described.

Basic data

Altitude m	Factor k_d for distance correction
0	0,784
200	0,803
500	0,833
1 000	0,844
2 000	1
m :	0,3262 for $0,01 < d < 0,0625$ mm;
	0,6361 for $0,0625 < d < 1$ mm;
	0,8539 for $1 < d < 10$ mm;
	0,9243 for $10 < d < 100$ mm.

b) *General discussion of factors influencing the electric strength of clearances*

The influencing factors are:

- air pressure;
- temperature;
- humidity.

The relationship between these factors for homogeneous electrical fields is as follows:

$$U_d = 24,41 dK + 6,73 \sqrt{dK}$$

$$K = \frac{p}{101,3} \times \frac{293}{\Delta T + 293}$$

where

U_d is the breakdown voltage in kilovolts

d is the clearance in centimetres $\geq 0,01$ cm

K is the correction for air pressure and temperature

ΔT is the difference in kelvins between actual room temperature and $T = 20$ °C

p is the actual air pressure in kilopascals

Pour l'essai réalisé, les facteurs de température et d'humidité ont été considérés comme négligeables. Les variations de pression d'air ont été uniquement prises en compte pour des différences d'altitude, les changements en cours de journée ont été considérés comme négligeables. Pour des raisons pratiques, il a été considéré que ces facteurs pouvaient être négligés car les données de la figure A.1 représentent la valeur limite inférieure de claquage déterminée statistiquement.

Lorsque des conditions d'essai plus précises sont spécifiées, la pression atmosphérique et la température de l'emplacement d'essai peuvent être utilisées dans la formule ci-dessus.

4.1.1.2.2 Variantes aux essais diélectriques de tension de choc

Un essai en courant alternatif ou en courant continu peut être spécifié par les Comités d'Etudes en variante pour un matériel particulier. Cette méthode constitue une variante faisant l'objet d'un accord particulier entre les constructeurs et les laboratoires d'essais.

Alors que des essais avec des tensions alternatives et continues de même valeur crête que les tensions d'essai de choc spécifiées au tableau 5 de 4.1.1.2.1.1 vérifient la capacité de tenue des distances dans l'air, ils contraignent plus sévèrement l'isolation solide car la tension est appliquée pendant une durée plus importante. Ils peuvent surcharger et détériorer certaines isolations solides. Les Comités d'Etudes doivent en principe donc prendre ceci en considération s'ils spécifient des essais avec une tension alternative ou continue en variante à l'essai de tenue aux chocs décrit en 4.1.1.2.1.

4.1.1.2.2.1 Essai diélectrique avec une tension alternative

La valeur crête de la tension sinusoïdale d'essai à fréquence industrielle doit être égale à la tension d'essai de choc du tableau 5 et appliquée pour trois périodes de la tension d'essai en courant alternatif.

4.1.1.2.2.2 Essai diélectrique avec une tension continue

La tension d'essai diélectrique en courant continu doit être exempte d'ondulation et égale à la tension d'essai de choc du tableau 5 et appliquée trois fois durant 10 ms de chaque polarité.

4.1.1.2.2.3 Durée d'essai

Les essais en courant alternatif et en courant continu peuvent dégrader l'isolation solide associée. Si des essais en courant alternatif ou en courant continu sont choisis, ils doivent être effectués pour un minimum de trois périodes dans le cas du courant alternatif ou trois fois durant 10 ms de chaque polarité dans le cas du courant continu. Une durée d'essai plus importante ne fournit pas d'information complémentaire relativement à la coordination de l'isolement des distances dans l'air.

4.1.1.2.2.4 Autres techniques d'essai diélectrique

D'autres techniques qui limitent l'énergie d'essai par rapport aux essais diélectriques en courant alternatif ou en courant continu sont à l'étude (par exemple une impulsion d'une demi-onde sinusoïdale).

4.1.1.2.3 Essai diélectrique $2 U_n + 1\,000\text{ V}$ pendant 1 min

Cet essai est spécifié par certains Comités d'Etudes mais n'est pas approprié pour la vérification des distances dans l'air et en conséquence n'est pas traité dans ce contexte.

For the purpose of testing, the factors of temperature and humidity have been considered negligible. Air pressure variations have been considered for altitude differences only, daily changes have been considered negligible. It is considered that these factors can for practical purposes be neglected because the data of figure A.1 represents the statistically determined low limit of the breakdown data.

When more precise testing conditions are required, the barometric pressure and the temperature of the test location may be used in the formula given above.

4.1.1.2.2 Alternatives to impulse voltage dielectric tests

Technical Committees may specify an a.c. or d.c. test for particular equipment as an alternative method subject to special agreement between manufacturers and testing laboratories.

While tests with a.c. and d.c. voltages of the same peak value as the impulse test voltage specified in table 5 of 4.1.1.2.1.1 verify the withstand capability of clearances, they more highly stress solid insulation because the voltage is applied for longer duration. They can overload and damage certain solid insulations. Technical Committees should therefore consider this when specifying tests with a.c. or d.c. voltages as an alternative to the impulse voltage test given in 4.1.1.2.1.

4.1.1.2.2.1 Dielectric test with a.c. voltage

The peak value of the sinusoidal power frequency test voltage shall be equal to the impulse test voltage in table 5 and applied for three cycles of the a.c. test voltage.

4.1.1.2.2.2 Dielectric test with d.c. voltage

The d.c. test voltage shall be ripple-free and equal to the impulse test voltage in table 5 and applied three times for 10 ms in each polarity.

4.1.1.2.2.3 Test duration

A.C. and d.c. tests can degrade the associated solid insulation. If a.c. or d.c. tests are chosen, they shall be conducted for a minimum of three cycles in the case of a.c., or three times with a duration of 10 ms in each polarity in the case of d.c. A longer test duration does not give additional information for insulation coordination of clearances.

4.1.1.2.2.4 Other dielectric test techniques

Other techniques which limit the test energy with respect to a.c. dielectric tests or d.c. tests are under consideration (e.g. a half sine-wave pulse).

4.1.1.2.3 Dielectric testing with $2 U_n + 1\,000\text{ V}$ for 1 min

This test is specified by some Technical Committees but is not relevant for the verification of clearances and therefore it is not dealt with in this context.

4.1.1.2.4 Essai dans un but autre que la coordination de l'isolement des distances dans l'air

Les Comités d'Etudes spécifiant des essais diélectriques à des fins autres que la vérification des distances dans l'air ne doivent en principe pas spécifier des tensions d'essai plus élevées que la tension d'essai exigée pour la coordination de l'isolement.

4.1.1.2.5 Essais individuels de série et sur prélèvement

Les essais individuels de série et sur prélèvement sont prévus afin d'assurer la qualité de la production et ne vérifient généralement pas la coordination de l'isolement. Il est de la responsabilité du Comité d'Etudes correspondant et en particulier du constructeur de spécifier ces essais. Ils doivent en principe être effectués avec les formes d'onde et les niveaux de tension, de sorte que les défauts soient détectés sans occasionner de dommage au matériel (isolation solide ou composants).

Pour un matériel ayant des distances dans l'air inférieures à celles du cas A, des essais sur prélèvement à la pleine valeur de tension donnée en 4.1.1.2.1 sont exigés. Des essais de série peuvent être spécifiés par les Comités d'Etudes.

4.1.1.3 Exécution de l'essai diélectrique sur des matériels complets

4.1.1.3.1 Parties à essayer

La tension d'essai diélectrique doit être appliquée entre les parties du matériel qui sont séparées électriquement l'une de l'autre.

Ces parties sont, par exemple:

- des parties actives;
- des circuits séparés;
- des circuits mis à la terre;
- des surfaces accessibles.

Les parties non conductrices des surfaces accessibles doivent être couvertes d'une feuille métallique.

NOTE Si un revêtement complet de grandes enveloppes avec une feuille métallique n'est pas réalisable, un revêtement partiel est suffisant s'il est appliqué aux parties qui procurent la protection contre les chocs électriques.

4.1.1.3.2 Préparation des circuits du matériel

Pour l'essai, chaque circuit du matériel doit être préparé comme suit:

- les bornes externes du circuit, s'il y en a, doivent être connectées ensemble;
- l'appareillage doit être en position fermée ou shunté;
- les bornes des composants bloquant la tension (tels que les diodes de redressement) doivent être connectées ensemble;
- les composants tels que les filtres contre les perturbations radioélectriques doivent être inclus dans l'essai au choc, mais il peut être nécessaire de les déconnecter pendant les essais en courant alternatif.

Les composants sensibles à la tension, à l'intérieur de chaque circuit du matériel, peuvent être shuntés en court-circuitant les bornes.

4.1.1.2.4 Test for purposes other than insulation coordination

Technical Committees specifying electric tests for purposes other than verification of clearances should not, in principle, specify test voltages higher than those required for insulation coordination.

4.1.1.2.5 Sampling and routine tests

Sampling tests and routine tests are intended to ensure production quality and do not generally verify insulation coordination. It is the responsibility of the relevant Technical Committee, and in particular of the manufacturer, to specify these tests. They should be carried out with the waveforms and voltage levels such that faults are detected without causing damage to the equipment (solid insulation or components).

For equipment with clearances smaller than case A, sampling tests are required at the full voltage value given in 4.1.1.2.1. Routine tests may be specified by Technical Committees.

4.1.1.3 Performing dielectric tests on complete equipment

4.1.1.3.1 Parts to be tested

The test voltage shall be applied between parts of the equipment which are electrically separate from each other.

Examples of such parts are:

- live parts;
- separate circuits;
- earthed circuits;
- accessible surfaces.

Non-conductive parts of accessible surfaces shall be covered with metal foil.

NOTE If a complete covering of large enclosures with metal foil is not practicable, a partial covering is sufficient if applied to those parts which provide protection against electric shock.

4.1.1.3.2 Preparation of equipment circuits

For the test, each circuit of the equipment shall be prepared as follows:

- external terminals of the circuit, if any, shall be connected together;
- switchgear and controlgear shall be in the closed position or bypassed;
- the terminals of voltage blocking components (such as rectifier diodes) shall be connected together;
- components such as RFI filters shall be included in the impulse test but it may be necessary to disconnect them during a.c. tests.

Voltage sensitive components within any circuit of the equipment may be bypassed by shorting the terminals.

Les cartes de circuits imprimés enfichables préessayées et les modules préessayés comportant des connecteurs multipôles peuvent être retirés, déconnectés ou remplacés par des éléments factices, afin d'assurer que la tension d'essai se propage à l'intérieur du matériel pour les essais d'isolement avec l'ampleur nécessaire.

4.1.1.3.3 Valeurs de la tension d'essai

Les circuits raccordés au réseau d'alimentation basse tension sont essayés conformément à 4.1.1.2.

La tension d'essai entre deux circuits du matériel doit avoir la valeur correspondant au circuit possédant la tension assignée la plus élevée.

NOTE Dans la mesure où la coordination de l'isolement n'est pas compromise, un niveau d'isolement plus faible peut être spécifié entre certaines parties du matériel. Il convient que ces parties soient alors interconnectées pour les besoins de l'essai. Ces parties doivent en principe être ensuite essayées l'une par rapport à l'autre avec la tension d'essai la plus faible spécifiée.

4.1.1.3.4 Critères d'essai

Il ne doit pas y avoir décharge disruptive (amorçage, claquage ou perforation) pendant ces essais. Les décharges partielles dans les distances dans l'air qui ne provoquent pas de claquage ne sont pas retenues, à moins qu'il n'en soit spécifié autrement par le Comité d'Etudes.

NOTE Il est recommandé d'utiliser un oscilloscope pour observer la tension de choc afin de détecter une décharge disruptive.

4.1.2 Essais diélectriques relatifs à l'isolation solide

L'isolation solide susceptible d'être exposée à des contraintes mécaniques pendant le fonctionnement, le stockage, le transport ou l'installation doit être soumise à l'essai en ce qui concerne les vibrations et les chocs mécaniques avant d'effectuer les essais diélectriques. Les Comités d'Etudes peuvent spécifier des méthodes d'essai.

NOTE Les méthodes d'essai sont spécifiées dans la CEI 60068.

Les essais décrits ci-dessous sont destinés à servir d'essais de type concernant la coordination de l'isolement.

Les buts de ces essais sont les suivants:

- a) L'essai de tenue à la tension de choc, pour vérifier l'aptitude de l'isolation solide à supporter la tension de choc assignée (se reporter à 3.3.3.2.1);
- b) L'essai de tension alternative, pour vérifier l'aptitude de l'isolation solide à supporter la surtension temporaire assignée (se reporter à 3.3.3.2.2);
- c) L'essai de décharge partielle pour vérifier qu'aucune décharge partielle n'est maintenue dans l'isolation solide:
 - à la tension maximale de régime établi,
 - à la surtension temporaire à long terme (se reporter à 3.3.3.2.2),
 - à la tension de crête répétitive (se reporter à 3.3.3.2.3).
- d) L'essai diélectrique à haute fréquence, pour vérifier l'absence de défaillance due à un échauffement au sens de 3.3.3.2.4.

Les Comités d'Etudes doivent spécifier quels essais de type sont à prescrire, selon les contraintes respectives susceptibles de se produire dans les matériels.

Les essais de décharges partielles doivent être spécifiés, à moins qu'il soit possible de démontrer que l'isolation a une longévité adéquate en présence de décharges partielles, comme c'est, par exemple, le cas avec les isolants en céramique. Pour le moment, l'essai de DP est applicable aux composants ou aux petits ensembles et aux petits matériels.

Pre-tested plug-in printed circuit boards and pre-tested modules with multipoint connectors may be withdrawn, disconnected or replaced by dummy samples to ensure that the test voltage is propagated inside the equipment to the extent necessary for the insulation tests.

4.1.1.3.3 Test voltage values

Circuits connected to the low-voltage mains are tested according to 4.1.1.2.

The test voltage between two circuits of the equipment shall have the value corresponding to that circuit with the higher rated voltage.

NOTE As long as insulation coordination is not impaired, a lower insulation level may be specified between certain parts of the equipment. Such parts should then be interconnected for the purpose of the test. Subsequently, such parts should be tested with respect to each other with the lower test voltage specified.

4.1.1.3.4 Test criteria

There shall be no disruptive discharge (sparkover, flashover or puncture) during the test. Partial discharges in clearances which do not result in breakdown are disregarded, unless otherwise specified by the Technical Committees.

NOTE It is recommended that an oscilloscope be used to observe the impulse voltage in order to detect disruptive discharge.

4.1.2 Electric tests for solid insulation

Solid insulation which may be subjected to mechanical stresses during operation, storage, transportation or installation shall be tested with respect to vibration and mechanical shock before the electric testing. Technical Committees may specify test methods.

NOTE Standard test methods are specified in IEC 60068.

The following tests are intended for use as type tests with respect to insulation coordination.

They have the following objectives:

- a) The impulse voltage withstand test to verify the capability of the solid insulation to withstand the rated impulse voltage (see 3.3.3.2.1);
- b) The a.c. voltage test to verify the capability of the solid insulation to withstand the rated temporary overvoltage (see 3.3.3.2.2);
- c) The partial discharge test to verify that no partial discharges are maintained in the solid insulation at:
 - the maximum steady-state voltage;
 - the long-term temporary overvoltage (see 3.3.3.2.2);
 - the recurring peak voltage (see 3.3.3.2.3);
- d) The high-frequency voltage test to verify the absence of failure due to dielectric heating according to 3.3.3.2.4.

Technical Committees shall specify which type tests are required in so far as the respective stresses occur in the equipment.

Partial discharge tests shall be specified unless it can be shown that insulation, for example ceramics, has an adequate life in the presence of partial discharges. For the time being, the PD test is applicable for components or small assemblies and small equipment.

Les essais mentionnés ci-dessus peuvent également servir d'essais sur prélèvement ou d'essais individuels de série. Il appartient, toutefois, aux Comités d'Etudes de spécifier les essais qui doivent être exécutés en tant qu'essais sur prélèvement ou en tant qu'essais individuels de série, de sorte que la qualité de l'isolement soit assurée pendant le fonctionnement. Les essais et le conditionnement, si nécessaire, doivent être spécifiés avec des paramètres d'essais adéquats permettant la détection de défauts sans détérioration du système d'isolation pendant son utilisation en service.

NOTE Des indications supplémentaires concernant les essais sur prélèvement et les essais individuels de série sont à l'étude.

Le 4.1.1.3 s'applique lorsque les essais sont exécutés sur des matériels complets.

4.1.2.1 Conditionnement

Sauf spécification contraire, les essais doivent être effectués sur un nouveau spécimen d'essai.

Le conditionnement du spécimen à température et humidité élevées est destiné à :

- reproduire les conditions les plus sévères en fonctionnement normal;
- mettre en évidence les faiblesses éventuelles qui ne sont pas présentes dans les nouvelles conditions.

Tableau 6 – Sévérités pour le conditionnement de l'isolation solide

Essai	Température °C	Humidité relative %	Temps h	Nombre de cycles
a) Chaleur sèche	+55	–	48	1
b) Cycle de chaleur sèche	–10 à +55	–	Durée du cycle 24	3
c) Choc thermique (variation rapide de température)	–10 à +55	–	³⁾	
d) Chaleur humide	25 ¹⁾ 40 ²⁾	93 93	96 96	1 1
¹⁾ Cette température apparaît dans plusieurs normes, par exemple la CEI 60335-1, la CEI 60669-1, la CEI 60730-1. ²⁾ Température normalisée de l'essai de chaleur humide dans la CEI 60068-2-3. ³⁾ La durée de la variation de température dépend de l'inertie thermique du spécimen soumis à l'essai, se reporter à la CEI 60068-2-14.				

Les méthodes de conditionnement suivantes sont recommandées :

- a) chaleur sèche (CEI 60068-2-2), afin de permettre au spécimen d'atteindre un état de stabilité thermique qui peut ne pas exister immédiatement après sa fabrication;
- b) cycle de chaleur sèche (CEI 60068-2-2), afin de provoquer la formation de soufflures qui peuvent apparaître durant le stockage, le transport et l'utilisation normale;
- c) choc thermique (CEI 60068-2-14), afin de provoquer dans le système d'isolation un décollement interlaminaire qui est susceptible de se produire durant le stockage, le transport et l'utilisation normale;
- d) chaleur humide (CEI 60068-2-3), afin de provoquer l'effet de l'absorption d'eau dans l'isolation solide et ses conséquences sur les propriétés diélectriques.

Pour ce qui concerne les essais de tension de choc, de tension alternative à fréquence industrielle et de tension à haute fréquence, les méthodes de conditionnement a) et d) sont les plus importantes.

Pour ce qui concerne les essais de décharges partielles, les méthodes de conditionnement b) et c) sont les plus appropriées.

The above tests may also be suitable as sample or routine tests. It is, however, the responsibility of the Technical Committees to specify which tests shall be performed as sample and routine tests in order to ensure the quality of the insulation during production. The tests, and conditioning as appropriate, shall be specified with test parameters adequate to detect faults without causing damage to the insulation system to be used in service.

NOTE Further guidance for sample and routine tests is under consideration.

When performing tests on complete equipment, the procedure of 4.1.1.3 applies.

4.1.2.1 Conditioning

If not otherwise specified, the test shall be performed with a new test specimen.

Conditioning of the specimen by temperature and humidity treatment is intended to

- represent the most onerous normal service conditions;
- expose possible weaknesses which are not present under the new conditions.

Table 6 – Severities for conditioning of solid insulation

Test	Temperature °C	Relative humidity %	Time h	Number of cycles
a) Dry heat	+55	–	48	1
b) Dry heat cycle	–10 to +55	–	Cycle duration 24	3
c) Thermal shock (rapid change of temperature)	–10 to +55	–	³⁾	
d) Damp heat	25 ¹⁾ 40 ²⁾	93 93	96 96	1 1
¹⁾ This temperature appears in several standards, e.g. IEC 60335-1, IEC 60669-1, IEC 60730-1. ²⁾ Standard temperature of damp heat test in IEC 60068-2-3. ³⁾ Duration of the temperature change depends on the thermal time constant of the test specimen, see IEC 60068-2-14.				

The following conditioning methods are recommended:

- a) dry heat (IEC 60068-2-2) in order to achieve a stable condition which may not exist immediately after manufacture;
- b) dry heat cycle (IEC 60068-2-2) in order to induce the creation of voids which could develop in storage, transportation and normal use;
- c) thermal shock (IEC 60068-2-14) in order to induce delamination within the insulation system which may develop in storage, transportation and normal use;
- d) damp heat (IEC 60068-2-3) in order to include the effect of water absorption upon the electric properties of the solid insulation.

For impulse voltage, a.c. power frequency voltage and high frequency voltage tests, the most significant conditioning methods are those in a) and d).

For partial discharge testing, conditioning methods b) and c) are most relevant.

Si le conditionnement d'une isolation solide est prescrit, cette procédure doit être effectuée avant les essais de type et les méthodes d'essais doivent se baser sur la CEI 60068. Les valeurs de température, d'humidité et de durée doivent être choisies parmi celles indiquées au tableau 6.

Pour des matériels, il peut s'avérer nécessaire de soumettre uniquement les composants au conditionnement avant les essais diélectriques, par exemple les éléments électriques ou les matériaux isolants, les sous-ensembles. Un tel conditionnement n'est pas exigé dans la mesure où les composants ont été l'objet d'essai de type conformément à ce paragraphe.

4.1.2.2 Essai de tension de choc

4.1.2.2.1 Méthode d'essai

A l'exception du tableau 5, les méthodes d'essai de tension de choc en 4.1.1.2.1 s'appliquent aussi à l'isolation solide. Cependant, l'essai doit être effectué pour cinq impulsions de chaque polarité, avec un intervalle d'au moins 1 s entre les impulsions de choc. La forme d'onde de chaque impulsion de choc doit être enregistrée.

4.1.2.2.2 Critères d'acceptation

Aucune perforation ou claquage partiel de l'isolation ne doit se produire pendant l'essai, mais des décharges partielles sont admises. Un claquage partiel sera indiqué par un échelon dans la forme d'onde résultante et cet échelon apparaîtra prématurément dans les tensions de choc successives. Un claquage sur la première impulsion peut indiquer soit une défaillance complète du système d'isolation, soit le fonctionnement de dispositifs limiteurs de surtensions présents dans le matériel.

NOTE 1 Si le matériel comporte des dispositifs limiteurs de surtensions, des précautions doivent être prises pour examiner la forme d'onde afin de s'assurer que leur fonctionnement ne conduit pas à l'interpréter comme une défaillance de l'isolation. Les distorsions de la tension de chocs qui ne varient pas d'une impulsion à l'autre, peuvent être occasionnées par le fonctionnement de dispositifs limiteurs de surtension et n'indiquent pas un claquage (partiel) de l'isolation solide.

NOTE 2 Des décharges partielles au niveau des soufflures peuvent entraîner, lorsque l'on examine la forme d'onde, des discontinuités d'une durée extrêmement brève qui peuvent se répéter au cours d'une impulsion.

4.1.2.3 Essai diélectrique en tension alternative à fréquence industrielle

4.1.2.3.1 Méthode d'essai

La tension d'essai alternative doit être uniformément augmentée de 0 V jusqu'à la valeur de surtension temporaire à court terme dans un intervalle de temps maximal de 5 s et maintenue à cette valeur pendant 5 s.

Dans certains cas, il est possible de remplacer la tension d'essai alternative par une tension d'essai continue d'une valeur égale à la valeur de crête de la tension alternative.

NOTE 1 Lorsque la détérioration permanente des échantillons d'essai de type est permise, il est possible d'utiliser une tension d'essai de $2 U_n + 1\,000$ V pendant 1 min.

Cette prescription fera l'objet d'une révision si les valeurs de la tension temporaire à court terme, selon 3.3.3.2.2, sont révisées et si une durée d'essai prolongée fournit des informations plus précises concernant la durabilité de l'isolation pendant la durée de vie prévue des matériels. Cette tension d'essai alternative élevée peut nécessiter des distances d'isolement dans l'air supérieures à celles qui sont spécifiées pour les surtensions transitoires.

NOTE 2 Les prescriptions relatives à l'isolation renforcée sont à l'étude.

NOTE 3 La spécification des matériels d'essai est à l'étude.

4.1.2.3.2 Critères d'acceptation

Aucun claquage de l'isolation solide ne doit se produire.

If conditioning of solid insulation is required, it shall be performed prior to type testing and the methods shall be based on IEC 60068. The values of temperature, humidity and time shall be selected from table 6.

For equipment, it may be appropriate to subject components only, for example electrical parts, sub-assemblies, insulating parts or materials, to conditioning before electric testing. In so far as components have already been type tested according to this subclause, such conditioning is not required.

4.1.2.2 Impulse voltage test

4.1.2.2.1 Test method

With the exception of table 5, the methods for impulse voltage testing of 4.1.1.2.1 apply also to solid insulation. However, the test shall be conducted for five impulses of each polarity with an interval of at least 1 s between impulses. The waveshape of each impulse shall be recorded.

4.1.2.2.2 Acceptance criteria

No puncture or partial breakdown of solid insulation shall occur during the test, but partial discharges are allowed. Partial breakdown will be indicated by a step in the resulting waveshape which will occur earlier in successive impulses. Breakdown on the first impulse may either indicate a complete failure of the insulation system or the operation of overvoltage limiting devices in the equipment.

NOTE 1 If overvoltage limiting devices are included in the equipment, care must be taken to examine the waveshape to ensure that their operation is not taken to indicate insulation failure. Distortions of the impulse voltage which do not change from impulse to impulse may be caused by operation of such overvoltage limiting device and do not indicate a (partial) breakdown of solid insulation.

NOTE 2 Partial discharges in voids can lead to partial notches of extremely short durations which may be repeated in the course of an impulse.

4.1.2.3 A.C. power frequency voltage test

4.1.2.3.1 Test method

The a.c. test voltage shall be raised uniformly from 0 V to the short-term temporary overvoltage within not more than 5 s and held at that value for 5 s. Instead of raising the test voltage gradually, it may also be applied immediately.

In some cases the a.c. test voltage may be substituted by a d.c. test voltage of a value equal to the peak value of the a.c. voltage.

NOTE 1 Where it is acceptable to cause permanent damage to the type test specimen, a test voltage such as $2 U_n + 1\,000$ V for 1 min may be specified.

This is subject to revision should the values for short-term temporary overvoltage in 3.3.3.2.2 be revised and if an extended test duration provides more precise information about durability of the insulation during the anticipated life of the equipment. Such increased a.c. test voltage can necessitate larger clearances than specified for transient overvoltages.

NOTE 2 Requirements for reinforced insulation are under consideration.

NOTE 3 Specification of test equipment is under consideration.

4.1.2.3.2 Acceptance criteria

No breakdown of solid insulation shall occur.

4.1.2.4 Essai de décharge partielle

Cet essai s'applique à l'isolation solide qui peut être détériorée par des décharges partielles. Les procédures d'essai de décharge partielle sont décrites à l'annexe C. Pendant l'exécution de l'essai, les facteurs de multiplication suivants sont utilisés:

F_1 – Facteur de sécurité de base pour les essais de DP et le dimensionnement des isolations principale et supplémentaire.

La tension d'extinction de DP est susceptible d'être influencée par les conditions d'environnement, telles que la température. Ces influences sont prises en compte par un facteur de sécurité de base F_1 , égal à 1,2. Pour ce qui concerne l'isolation principale ou l'isolation supplémentaire, la tension d'extinction de DP est donc supérieure ou égale à $1,2 U_{rp}$.

F_2 – Facteur d'hystérésis de DP.

Un hystérésis se produit entre la tension de seuil de décharge partielle U_i et la tension d'extinction de décharge partielle U_e . L'expérience pratique montre que ce facteur F_2 n'est pas supérieur à 1,25. Pour l'isolation principale et supplémentaire, la valeur initiale de la tension d'essai est donc $F_1 \times F_2 \times U_{rp}$, c'est-à-dire $1,2 \times 1,25 U_{rp} = 1,5 U_{rp}$.

NOTE Ceci tient compte du fait que la DP pourrait être engendrée par des surtensions transitoires supérieures à U_i et maintenue, par exemple, par les valeurs de tension de crête répétitive supérieures à U_e . Une telle situation nécessiterait une combinaison entre les tensions de choc et les tensions alternatives durant l'essai; ceci n'étant pas réalisable, la situation est donc simulée par un essai avec une tension alternative, en prenant une tension d'essai initialement augmentée.

F_3 – Facteur de sécurité supplémentaire pour les essais de DP et le dimensionnement d'une isolation renforcée.

Pour ce qui concerne l'isolation renforcée, il est nécessaire de déterminer un facteur de risque plus rigoureux. Par conséquent, un facteur supplémentaire de sécurité $F_3 = 1,25$ est nécessaire. La valeur initiale de la tension d'essai est $F_1 \times F_2 \times F_3 \times U_{rp}$, c'est-à-dire $1,2 \times 1,25 \times 1,25 U_{rp} = 1,875 U_{rp}$.

F_4 – Facteur couvrant les écarts, à long terme, par rapport à la tension nominale du réseau d'alimentation.

Pour ce qui concerne les circuits reliés au réseau d'alimentation, ce facteur tient compte de l'écart maximum, à long terme, par rapport à la tension nominale. Par conséquent, la tension de crête, à la tension nominale U_n , doit être multipliée par $F_4 = 1,1$.

4.1.2.4.1 Généralités

L'essai est effectué pour vérifier qu'aucune décharge partielle n'est maintenue à la plus élevée des valeurs suivantes:

- la valeur de crête de la tension maximale de régime établi;
- la valeur de crête de la surtension temporaire à long terme (se reporter à 3.3.3.2.2);
- la tension de crête répétitive (se reporter à 3.3.3.2.3).

NOTE Dans des cas où, en complément, les valeurs réelles de tension de seuil et d'extinction de DP sont recherchées, la procédure de mesure est décrite en D.1 de l'annexe D.

L'essai de décharge partielle est généralement utilisé pour vérifier les composants, les petits ensembles et les petits matériels. Si des matériels complexes sont soumis aux essais, des précautions doivent être prises pour tenir compte d'un affaiblissement excessif des signaux de DP, lorsque ces derniers sont mesurés aux bornes du matériel.

4.1.2.4 Partial discharge test

This test applies to solid insulation which may be deteriorated by partial discharges. Partial discharge test methods are described in annex C. When performing the test, the following multiplying factors apply.

F_1 – Basic safety factor for PD testing and dimensioning basic and supplementary insulation.

The PD extinction voltage may be influenced by environmental conditions, such as temperature. These influences are taken into account by a basic safety factor F_1 of 1,2. The PD extinction voltage for basic or supplementary insulation is therefore at least $1,2 U_{rp}$.

F_2 – PD hysteresis factor.

Hysteresis occurs between the PD inception voltage U_i and the PD extinction voltage U_e . Practical experience shows that F_2 is not greater than 1,25. For basic and supplementary insulation, the initial value of the test voltage is therefore $F_1 \times F_2 \times U_{rp}$, i.e. $1,2 \times 1,25 U_{rp} = 1,5 U_{rp}$.

NOTE This takes into account that PD might be initiated by transient overvoltages exceeding U_i and could be maintained, for example, by values of the recurring peak voltage exceeding U_e . This situation would require the combination of impulse and a.c. voltages for the test, which is impractical. Therefore, an a.c. test is performed with an initially increased voltage.

F_3 – Additional safety factor for PD testing and dimensioning reinforced insulation.

For reinforced insulation a more stringent risk assessment is required. Therefore, an additional safety factor $F_3 = 1,25$ is required. The initial value of the test voltage is $F_1 \times F_2 \times F_3 \times U_{rp}$, i.e. $1,2 \times 1,25 \times 1,25 U_{rp} = 1,875 U_{rp}$.

F_4 – Factor covering the deviation from the nominal voltage U_n of the low-voltage mains.

For circuits connected to the low-voltage mains, this factor takes into account the maximum deviation of the mains voltage from its nominal value. Therefore the crest voltage at nominal voltage U_n is to be multiplied by $F_4 = 1,1$.

4.1.2.4.1 General

The test is to verify that no partial discharges are maintained at the highest of the following values:

- the peak value of the maximum steady-state voltage;
- the peak value of the long-term temporary overvoltage (see 3.3.3.2.2);
- the recurring peak voltage (see 3.3.3.2.3).

NOTE For cases where, additionally, the actual values of PD inception and extinction voltage are of interest, the measuring procedure is described in D.1 of annex D.

When testing, the PD test is generally applied to components, small assemblies and small equipment. When testing complex equipment, care must be taken to allow for excessive attenuation of PD signals when measured at the equipment terminals.

La valeur minimale requise pour la tension d'extinction de décharge doit être supérieure d'un facteur F_1 à la plus élevée des valeurs mentionnées ci-dessus.

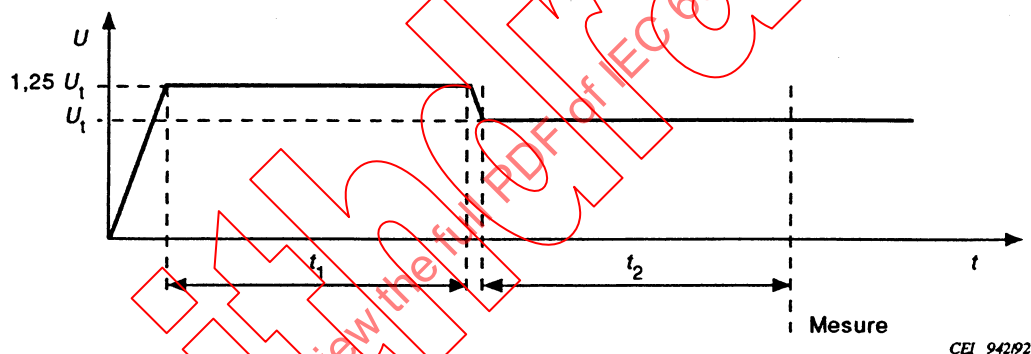
Selon le type de spécimen, les Comités d'Etudes doivent spécifier:

- le circuit d'essai (se reporter à C.1.1 de l'annexe C),
- l'équipement de mesurage (C.3 de l'annexe C et D.2 de l'annexe D),
- la fréquence de mesurage (C.3.1 de l'annexe C et D.3.3 de l'annexe D),
- le mode opératoire (4.1.2.4.2).

4.1.2.4.2 Mode opératoire

La valeur de la tension d'essai U_t est celle de la tension d'extinction de décharge minimale requise (se reporter à 4.1.2.4.1).

La tension doit être augmentée uniformément depuis 0 V jusqu'à la valeur initiale de la tension d'essai $F_2 \times U_t$, c'est-à-dire $F_1 \times F_2 = 1,2 \times 1,25 = 1,5$ fois la tension la plus élevée parmi celles énumérées en 4.1.2.4.1. Cette valeur est ensuite maintenue constante pendant une durée spécifiée t_1 , ne dépassant pas 5 s. La tension est ensuite abaissée jusqu'à la tension d'essai U_t , qui est maintenue constante pendant une durée spécifiée t_2 , jusqu'à ce que la grandeur de DP soit mesurée.



4.1.2.4.3 Critères d'acceptation

4.1.2.4.3.1 Grandeur de décharge spécifiée

Le but étant l'absence de décharges partielles permanentes en conditions de fonctionnement normal, la plus faible valeur doit être spécifiée comme étant la plus convenable au sens de D.3 de l'annexe D.

NOTE 1 A l'exception des décharges provoquées par des décharges par effluves dans l'air (par exemple des transformateurs non moulés), les valeurs au-dessus de 10 pC ne sont pas convenables.

NOTE 2 Les valeurs aussi faibles que 2 pC sont possibles avec les appareils généralement disponibles.

The minimum required discharge extinction voltage shall be higher, by the factor F_1 , than the highest of the voltages listed above.

According to the kind of test specimen, Technical Committees shall specify

- the test circuit (C.1.1 of annex C);
- the measuring equipment (C.3 of annex C and D.2 of annex D);
- the measuring frequency (C.3.1 of annex C and D.3.3 of annex D);
- the test procedure (4.1.2.4.2).

4.1.2.4.2 Test procedure

The value of the test voltage U_t is the minimum required discharge extinction voltage (see 4.1.2.4.1).

The voltage shall be raised uniformly from 0 V up to the initial test voltage $F_2 \times U_t$, i.e. $F_1 \times F_2 = 1,2 \times 1,25 = 1,5$ times the highest of the voltages listed under 4.1.2.4.1. It is then kept constant for a specified time t_1 not exceeding 5 s. The voltage is then decreased to the test voltage U_t , which is kept constant for a specified time t_2 until the PD magnitude is measured.

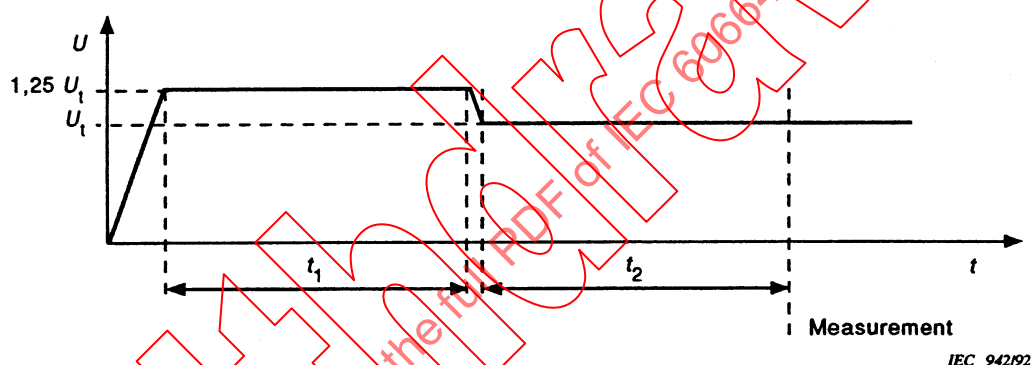


Figure 2 – Test procedure

4.1.2.4.3 Acceptance criteria

4.1.2.4.3.1 Specified discharge magnitude

As the objective is to have no continuous partial discharges under normal service conditions, the lowest practicable value following D.3 of annex D shall be specified.

NOTE 1 Except for discharges caused by corona discharges in air (e.g. in non-moulded transformers), values in excess of 10 pC are not suitable.

NOTE 2 Values as small as 2 pC are possible with currently available apparatus.

4.1.2.4.3.2 Résultat d'essai

L'essai d'isolation solide est considéré comme probant si:

- aucun claquage ne s'est produit au niveau de l'isolation, et
- durant l'application de la tension d'essai U_t
 - des décharges partielles n'ont pas eu lieu, ou
 - la grandeur de décharge mesurée n'est pas supérieure à la grandeur de décharge spécifiée.

Le niveau de bruit ne doit pas être soustrait de la valeur de lecture de l'appareil de mesurage de DP.

4.1.2.5 Essai de tension à haute fréquence (à l'étude)

Pour les tensions à haute fréquence selon 3.3.3.2.4, des essais de tension alternative supplémentaires ou de substitution conformément à 4.1.2.3 ou des essais de décharges partielles conformément à 4.1.2.4 peuvent être nécessaires.

4.1.2.6 Séquence d'essai

Lorsque plusieurs essais individuels sont prescrits par le Comité d'Etudes, ils doivent être effectués dans l'ordre suivant:

- a) Essai de tension de choc, conformément à 4.1.2.2.
- b) Essai de tension à fréquence industrielle, conformément à 4.1.2.3.
- c) Essai de décharge partielle, conformément à 4.1.2.4.

Cependant, il est permis de combiner l'essai de décharge partielle avec l'essai de tension alternative à fréquence industrielle.

NOTE Dans des cas spécifiques à certains matériels, il n'est pas exclu qu'un essai de tension alternative à fréquence industrielle, avec des tensions de crête égales aux tensions de choc, soit préféré à l'essai aux ondes de choc. Il est cependant à noter que cet essai est plus sévère pour les matériels, se reporter également en 4.1.4.

4.2 Mesure des lignes de fuite et des distances d'isolement

La dimension X, spécifiée dans les exemples suivants, a une valeur minimale dépendant du degré de pollution, comme suit:

Degré de pollution	Valeur minimale de la dimension X
1	0,25 mm
2	1,0 mm
3	1,5 mm
4	2,5 mm

Si la distance d'isolement associée est inférieure à 3 mm, la largeur X minimale peut être réduite au tiers de la valeur de cette distance d'isolement.

Les méthodes de mesure des lignes de fuite et des distances d'isolement sont indiquées dans les exemples 1 à 11. Ces exemples ne font pas de différence entre les intervalles et les rainures ou entre les types d'isolation.

4.1.2.4.3.2 Test result

The solid insulation has passed the test if:

- no insulation breakdown has occurred, and
- during the application of the test voltage U_t
 - partial discharges have not occurred, or
 - the measured discharge magnitude is no longer higher than the specified discharge magnitude.

The noise level shall not be subtracted from the reading of the PD meter.

4.1.2.5 High frequency voltage test (under consideration)

For high frequency voltages according to 3.3.3.2.4, additional or alternative a.c. voltage tests according to 4.1.2.3 or partial discharge tests according to 4.1.2.4 may be necessary.

4.1.2.6 Test sequence

When more than one individual test is required by the Technical Committee, they shall be performed in the following sequence:

- a) Impulse voltage test according to 4.1.2.2;
- b) AC power frequency voltage test according to 4.1.2.3;
- c) Partial discharge test according to 4.1.2.4.

However it is permissible to combine the partial discharge test with the a.c. power frequency voltage test.

NOTE In special cases, for certain equipment an a.c. power frequency voltage test with peak voltages equal to the impulse voltages may be preferred to the impulse test. Note, however, that this will be more onerous to the equipment, see also 4.1.4.

4.2 Measurement of creepage distances and clearances

The dimension X , specified in the following examples, has a minimum value depending on the pollution degree as follows:

Pollution degree	Dimension X minimum value
1	0,25 mm
2	1,0 mm
3	1,5 mm
4	2,5 mm

If the associated clearance is less than 3 mm, the minimum dimension X may be reduced to one third of this clearance.

The methods of measuring creepage distances and clearances are indicated in the following examples 1 to 11. These cases do not differentiate between gaps and grooves or between types of insulation.

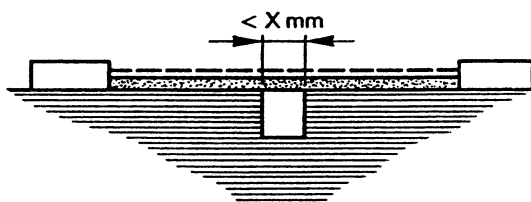
Les suppositions suivantes ont été faites:

- tout puits est supposé être ponté par une liaison isolante de largeur X mm placée dans la position la plus défavorable (voir exemple 3);
- lorsque la distance entre les arêtes supérieures d'une rainure est supérieure ou égale à X mm, une ligne de fuite est mesurée le long des contours de la rainure (voir exemple 2);
- les lignes de fuite et les distances d'isolement mesurées entre les parties mobiles l'une par rapport à l'autre sont mesurées lorsque ces parties se trouvent dans leurs positions les plus défavorables.

The following assumptions are made:

- any recess is assumed to be bridged with an insulating link having a length equal to the specified width X and being placed in the most unfavourable position (see example 3);
- where the distance across a groove is equal to or larger than the specified width X , the creepage distance is measured along the contours of the groove (see example 2);
- creepage distances and clearances measured between parts which can assume different positions in relation to each other, are measured when these parts are in their most unfavourable position.

Exemple
1
Example



127/81

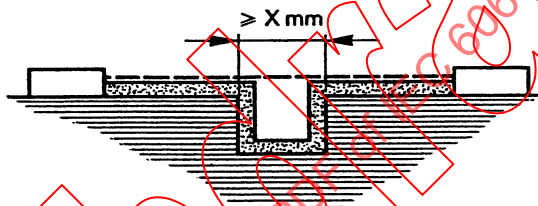
Condition: Ce chemin de ligne de fuite comprend une rainure à flancs parallèles ou convergents, de profondeur quelconque et de largeur inférieure à X mm.

Règle: La ligne de fuite et la distance d'isolement sont mesurées en ligne droite au-dessus de la rainure, comme indiqué ci-dessus.

Condition: Path under consideration includes a parallel- or converging-sided groove of any depth with a width less than X mm.

Rule: Creepage distance and clearance are measured directly across the groove as shown.

Exemple
2
Example



128/81

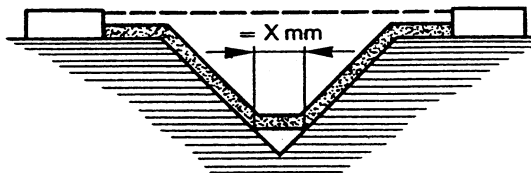
Condition: Ce chemin de ligne de fuite comprend une rainure à flancs parallèles, de profondeur quelconque et de largeur égale ou supérieure à X mm.

Règle: La distance d'isolement est la distance en ligne droite. Le chemin de la ligne de fuite longe le profil de la rainure.

Condition: Path under consideration includes a parallel-sided groove of any depth and equal to or more than X mm.

Rule: Clearance is the "line of sight" distance. Creepage path follows the contour of the groove.

Exemple
3
Example



129/81

Condition: Ce chemin de ligne de fuite comprend une rainure en V dont la largeur est supérieure à X mm.

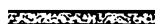
Règle: La distance d'isolement est la distance en ligne droite. Le chemin de la ligne de fuite longe le profil de la rainure, mais «court-circuite» le bas de la rainure par un tronçon de X mm.

Condition: Path under consideration includes a V-shaped groove with a width greater than X mm.

Rule: Clearance is the "line of sight" distance. Creepage path follows the contour of the groove but "short-circuits" the bottom of the groove by X mm link.

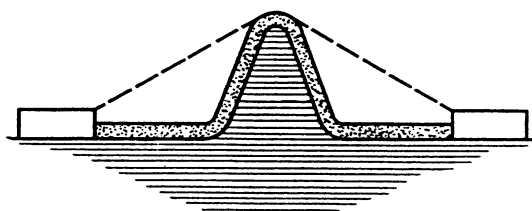


Distance d'isolement
Clearance



Ligne de fuite
Creepage distance

Exemple
4
Example



131/81

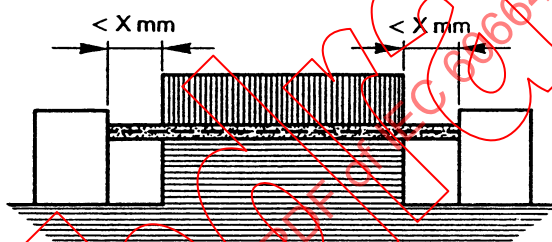
Condition: Ce chemin de ligne de fuite comprend une nervure.

Règle: La distance d'isolement est le chemin dans l'air le plus court par-dessus le sommet de la nervure. Le chemin de la ligne de fuite longe le profil de la nervure.

Condition: Path under consideration includes a rib.

Rule: Clearance is the shortest direct air path over the top of the rib. Creepage path follows the contour of the rib.

Exemple
5
Example



132/81

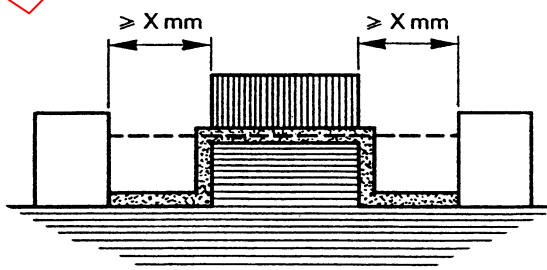
Condition: Ce chemin de ligne de fuite comprend deux parties non collées avec des rainures de largeur inférieure à X mm de chaque côté.

Règle: Le chemin de la ligne de fuite et de la distance d'isolement est la distance en ligne droite indiquée ci-dessus.

Condition: Path under consideration includes an uncemented joint with grooves less than X mm wide on each side.

Rule: Creepage and clearance path is the "line of sight" distance shown.

Exemple
6
Example



133/81

Condition: Ce chemin de ligne de fuite comprend deux parties non collées avec des rainures de largeur égale ou supérieure à X mm de chaque côté.

Règle: La distance d'isolement est la distance en ligne droite. Le chemin de la ligne de fuite longe le profil des rainures.

Condition: Path under consideration includes an uncemented joint with grooves equal to or more than X mm wide on each side.

Rule: Clearance is the "line of sight" distance. Creepage path follows the contour of the grooves.

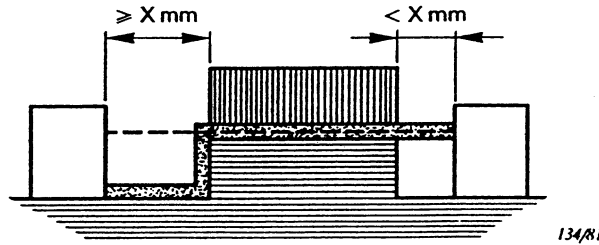


Distance d'isolement
Clearance



Ligne de fuite
Creepage distance

Exemple
7
Example



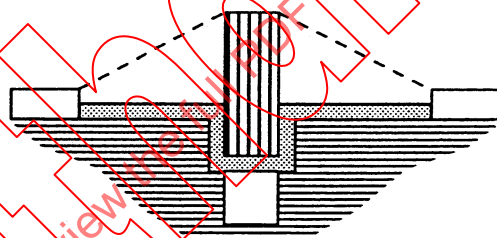
Condition: Ce chemin de ligne de fuite comprend deux parties non collées avec, d'un côté une rainure de largeur inférieure à X mm et, de l'autre côté, une rainure de largeur égale ou supérieure à X mm.

Règle: Les chemins de la distance d'isolement et de la ligne de fuite sont indiqués ci-dessus.

Condition: Path under consideration includes an uncemented joint with a groove on one side less than X mm wide and the groove on the other side equal to or more than X mm wide.

Rule: Clearance and creepage paths area as shown.

Exemple
8
Example



Condition: La ligne de fuite à travers le joint non collé est inférieure à la ligne de fuite par dessus la barrière.

Règle: La distance d'isolement est le chemin dans l'air le plus court par dessus le sommet de la barrière.

Condition: Creepage distance through uncemented joint is less than creepage distance over barrier.

Rule: Clearance is the shortest direct air path over the top of the barrier.

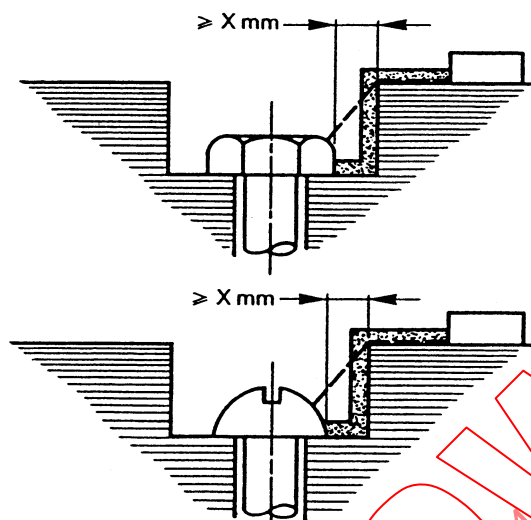


Distance d'isolement
Clearance



Ligne de fuite
Creepage distance

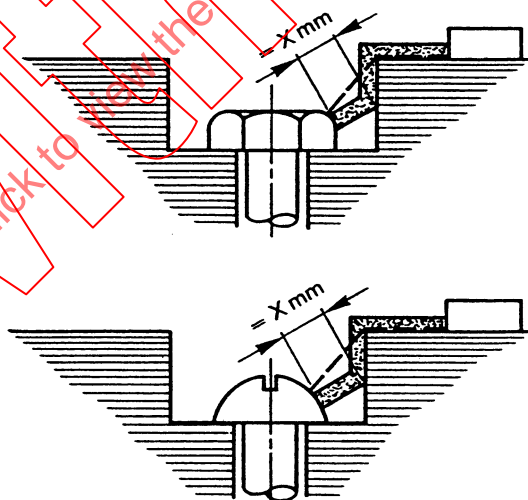
Exemple
9
Example



Distance suffisante entre tête de vis et paroi du logement pour être prise en compte.

Gap between head of screw and wall of recess wide enough to be taken into account.

Exemple
10
Example



Distance trop faible entre tête de vis et paroi du logement pour être prise en compte

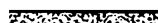
Gap between head of screw and wall of recess too narrow to be taken into account.

La mesure de la ligne de fuite s'effectue de la vis à la paroi quand la distance est égale à X mm.

Measurement of creepage distance is from screw to wall when the distance is equal to X mm.

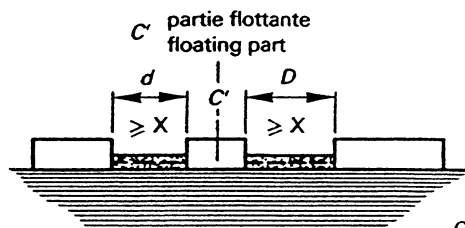


Distance d'isolement
Clearance



Ligne de fuite
Creepage distance

Exemple
11
Example



CEI-IEC 107792

Distance d'isolement = $d + D$
Ligne de fuite = $d + D$

Clearance is the distance = $d + D$
Creepage distance is also = $d + D$



Distance d'isolement
Clearance



Ligne de fuite
Creepage distance

IECNORM.COM Click to view the full PDF of IEC 60664-1:1992+AMD:2000 CSV

– Page blanche –
– Blank page –

IECNORM.COM . Click to view the full PDF of IEC 60664-1:1992+A1:2000 CSV

Withdrawn

Annexe A (informative)

Données fondamentales des caractéristiques de tenue des distances d'isolement

**Tableau A.1 – Tensions de tenue en kilovolts pour une altitude de 2 000 m
au-dessus du niveau de la mer**

Distance d'isolement	Cas A Champ non homogène			Cas B Champ homogène	
	Courant alternatif (50/60 Hz)		Choc (1,2/50)	Courant alternatif (50/60 Hz)	Courant alternatif (50/60 Hz) et choc (1,2/50)
mm	$U_{eff.}$	$\hat{U}$	$\hat{U}$	$U_{eff.}$	$\hat{U}$
0,010	0,23	0,33	0,33	0,23	0,33
0,012	0,25	0,35	0,35	0,25	0,35
0,015	0,26	0,37	0,37	0,26	0,37
0,020	0,28	0,40	0,40	0,28	0,40
0,025	0,31	0,44	0,44	0,31	0,44
0,030	0,33	0,47	0,47	0,33	0,47
0,040	0,37	0,52	0,52	0,37	0,52
0,050	0,40	0,56	0,56	0,40	0,56
0,0625	0,42	0,60 +	0,60 +	0,42	0,60 +
0,080	0,46	0,65	0,70	0,50	0,70
0,10	0,50	0,70	0,81	0,57	0,81
0,12	0,52	0,74	0,91	0,64	0,91
0,15	0,57	0,80	1,04 +	0,74	1,04
0,20	0,62	0,88	1,15	0,89	1,26
0,25	0,67	0,95	1,23	1,03	1,45
0,30	0,71	1,01	1,31	1,15	1,62
0,40	0,78	1,11	1,44	1,38	1,95
0,50	0,84	1,19	1,55	1,59	2,25
0,60	0,90	1,27	1,65	1,79	2,53
0,80	0,98	1,39	1,81	2,15	3,04
1,0	1,06	1,50 +	1,95	2,47	3,50 +
1,2	1,20	1,70	2,20	2,89	4,09
1,5	1,39	1,97	2,56	3,50	4,95
2,0	1,68	2,38	3,09	4,48	6,33
2,5	1,96	2,77	3,60	5,41	7,65
3,0	2,21	3,13	4,07	6,32	8,94
4,0	2,68	3,79	4,93	8,06	11,4
5,0	3,11	4,40	5,72	9,76	13,8
6,0	3,51	4,97	6,46	11,5	16,2
8,0	4,26	6,03	7,84	14,6	20,7
10,0	4,95	7,00 +	9,10	17,7	25,0 +
12,0	5,78	8,18	10,6	20,9	29,6
15,0	7,00	9,90	12,9	25,7	36,4
20,0	8,98	12,7	16,4	33,5	47,4
25,0	10,8	15,3	19,9	41,2	58,3
30,0	12,7	17,9	23,3	48,8	69,0
40,0	16,2	22,9	29,8	63,6	90,0
50,0	19,6	27,7	36,0	78,5	111,0
60,0	22,8	32,3	42,0	92,6	131,0
80,0	29,2	41,3	53,7	120,9	171,0
100,0	35,4	50,0 +	65,0	148,5	210,0 +

Pour simplifier, les valeurs mesurées statistiquement selon le tableau A.1 ci-dessus sont remplacées par une ligne droite entre les valeurs marquées «+» sur un diagramme log-log tenant compte des facteurs de correction de 0 m à 2 000 m d'altitude. Les valeurs intermédiaires sont tirées de ce diagramme (voir figure A.1) de sorte qu'elles comprennent les valeurs mesurées avec une faible marge de sécurité. Les valeurs de $U_{eff.}$ s'obtiennent en divisant les valeurs de $\hat{U}$ par $\sqrt{2}$.

Annex A (informative)

Basic data on withstand characteristics of clearances

**Tableau A.1 – Withstand voltages in kilovolts for
an altitude of 2 000 m above sea level**

Clearance	Case A Inhomogeneous field			Case B Homogeneous field	
	A.C. (50/60 Hz)		Impulse (1,2/50)	A.C. (50/60 Hz)	A.C. (50/60 Hz) and impulse (1,2/50)
mm	U r.m.s.	$\hat{U}$	$\hat{U}$	U r.m.s.	$\hat{U}$
0,010	0,23	0,33	0,33	0,23	0,33
0,012	0,25	0,35	0,35	0,25	0,35
0,015	0,26	0,37	0,37	0,26	0,37
0,020	0,28	0,40	0,40	0,28	0,40
0,025	0,31	0,44	0,44	0,31	0,44
0,030	0,33	0,47	0,47	0,33	0,47
0,040	0,37	0,52	0,52	0,37	0,52
0,050	0,40	0,56	0,56	0,40	0,56
0,0625	0,42	0,60 +	0,60 +	0,42	0,60 +
0,080	0,46	0,65	0,70	0,50	0,70
0,10	0,50	0,70	0,81	0,57	0,81
0,12	0,52	0,74	0,91	0,64	0,91
0,15	0,57	0,80	1,04	0,74	1,04
0,20	0,62	0,88	1,15	0,89	1,26
0,25	0,67	0,95	1,23	1,03	1,45
0,30	0,71	1,01	1,31	1,15	1,62
0,40	0,78	1,11	1,44	1,38	1,95
0,50	0,84	1,19	1,55	1,59	2,25
0,60	0,90	1,27	1,65	1,79	2,53
0,80	0,98	1,39	1,81	2,15	3,04
1,0	1,06	1,50	1,95	2,47	3,50+
1,2	1,20	1,70	2,20	2,89	4,09
1,5	1,39	1,97	2,56	3,50	4,95
2,0	1,68	2,38	3,09	4,48	6,33
2,5	1,96	2,77	3,60	5,41	7,65
3,0	2,21	3,13	4,07	6,32	8,94
4,0	2,68	3,79	4,93	8,06	11,4
5,0	3,11	4,40	5,72	9,76	13,8
6,0	3,51	4,97	6,46	11,5	16,2
8,0	4,26	6,03	7,84	14,6	20,7
10,0	4,95	7,00+	9,10	17,7	25,0+
12,0	5,78	8,18	10,6	20,9	29,6
15,0	7,00	9,90	12,9	25,7	36,4
20,0	8,98	12,7	16,4	33,5	47,4
25,0	10,8	15,3	19,9	41,2	58,3
30,0	12,7	17,9	23,3	48,8	69,0
40,0	16,2	22,9	29,8	63,6	90,0
50,0	19,6	27,7	36,0	78,5	111,0
60,0	22,8	32,3	42,0	92,6	131,0
80,0	29,2	41,3	53,7	120,9	171,0
100,0	35,4	50,0+	65,0	148,5	210,0+

For simplification, the statistical measured values according to table A.1 above are replaced by straight lines between the values marked "+" in a double logarithmic diagram taking into account the correction factors from 0 m to 2 000 m altitude. The intermediate values are taken from that diagram (see figure A.1) so that they enclose the measured values with a small safety margin. The values of U r.m.s. are found by dividing the values of $\hat{U}$ by $\sqrt{2}$.

Tableau A.2 – Facteurs de correction d'altitude

Altitude m	Pression atmosphérique normale kPa	Facteur multiplicatif pour les distances d'isolement
2 000	80,0	1,00
3 000	70,0	1,14
4 000	62,0	1,29
5 000	54,0	1,48
6 000	47,0	1,70
7 000	41,0	1,95
8 000	35,5	2,25
9 000	30,5	2,62
10 000	26,5	3,02
15 000	12,0	6,67
20 000	5,5	14,5

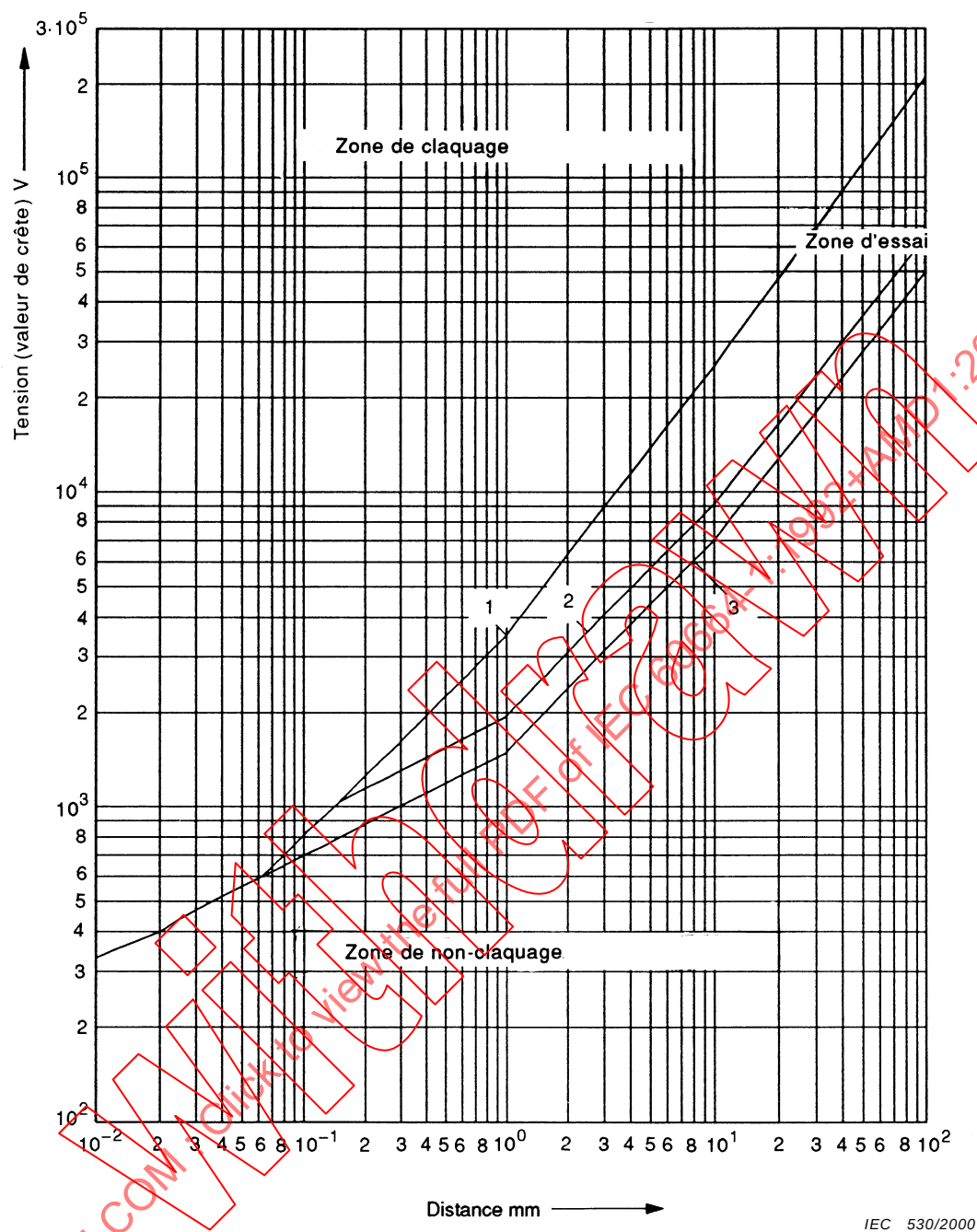
IECNORM.COM

Click to view the full PDF of IEC 60664-1:1992+AMD1:2000 CSV

Without watermark

Table A.2 – Altitude correction factors

Altitude m	Normal barometric pressure kPa	Multiplication factor for clearances
2 000	80,0	1,00
3 000	70,0	1,14
4 000	62,0	1,29
5 000	54,0	1,48
6 000	47,0	1,70
7 000	41,0	1,95
8 000	35,5	2,25
9 000	30,5	2,62
10 000	26,5	3,02
15 000	12,0	6,67
20 000	5,5	14,5

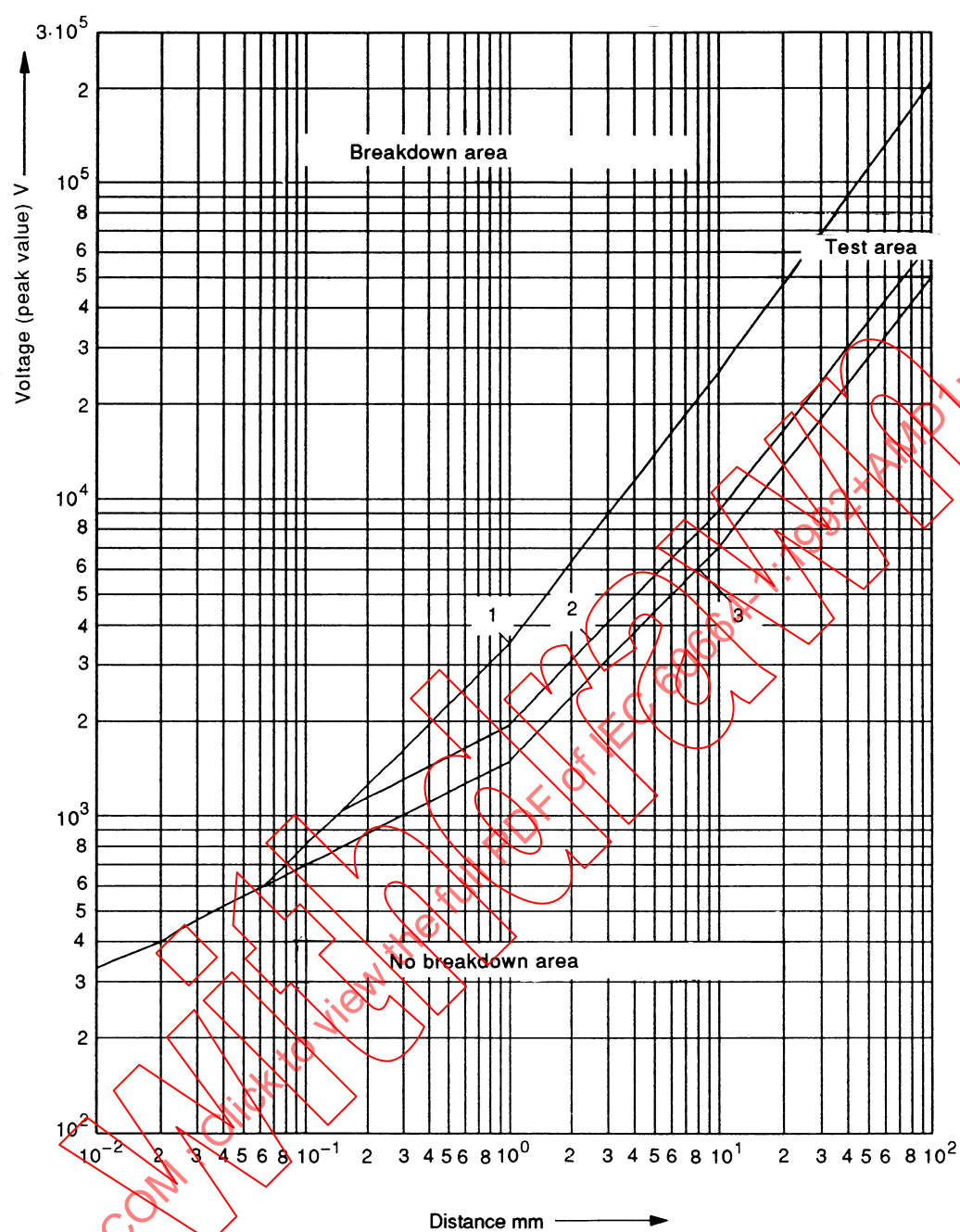


1 = Cas B; $\hat{U}_{1,2/50}$ et $\hat{U}_{50/60}$ Hz

2 = Cas A; $\hat{U}_{1,2/50}$

3 = Cas A; $\hat{U}_{50/60}$ Hz

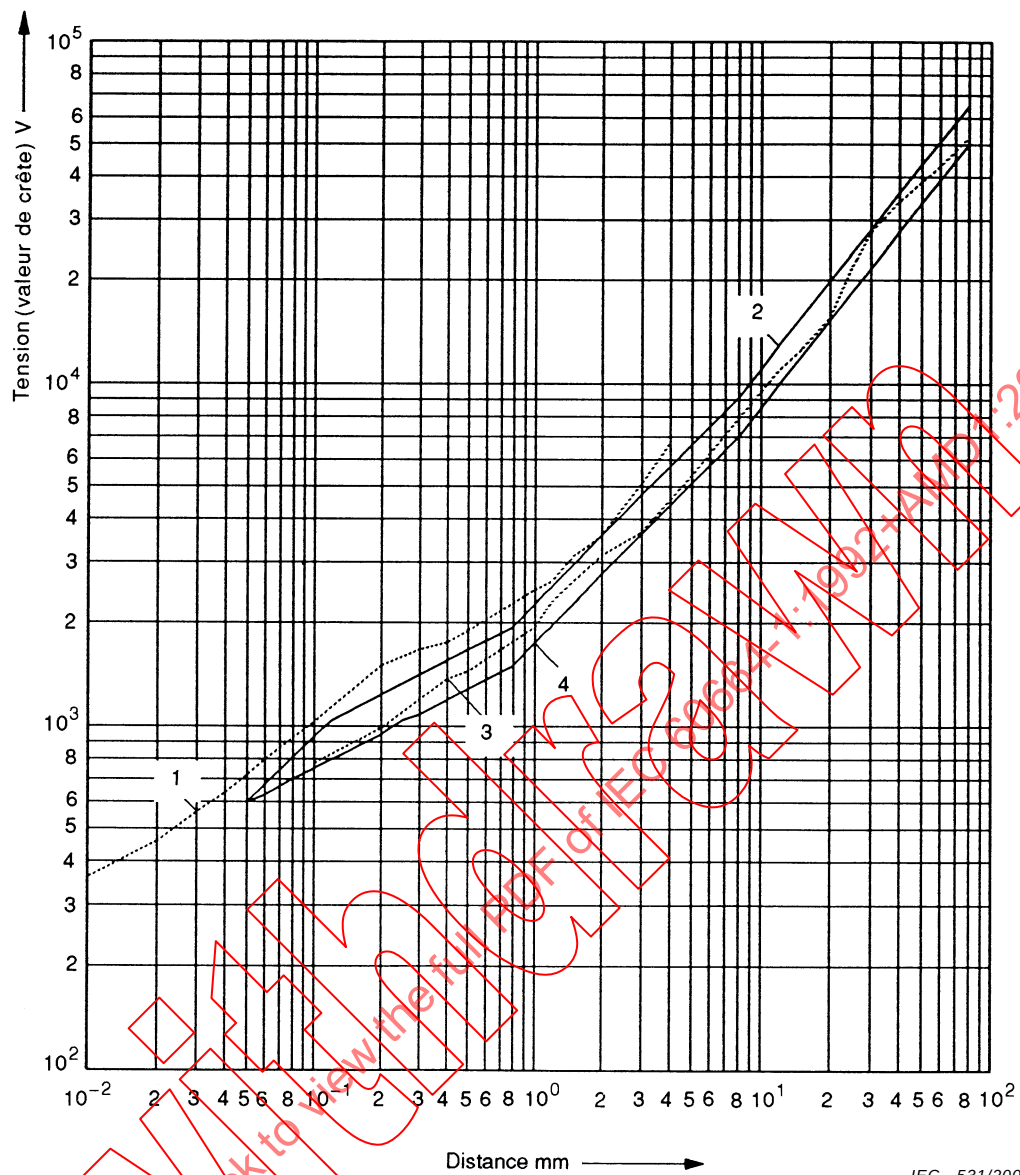
Figure A.1 – Tension de tenue à 2 000 m au-dessus du niveau de la mer



IEC 530/2000

- 1 = Case B; $\hat{U}_{1,2/50}$ and $\hat{U}_{50/60}$ Hz
 2 = Case A; $\hat{U}_{1,2/50}$
 3 = Case A; $\hat{U}_{50/60}$ Hz

Figure A.1 – Withstand voltage at 2 000 m above sea level



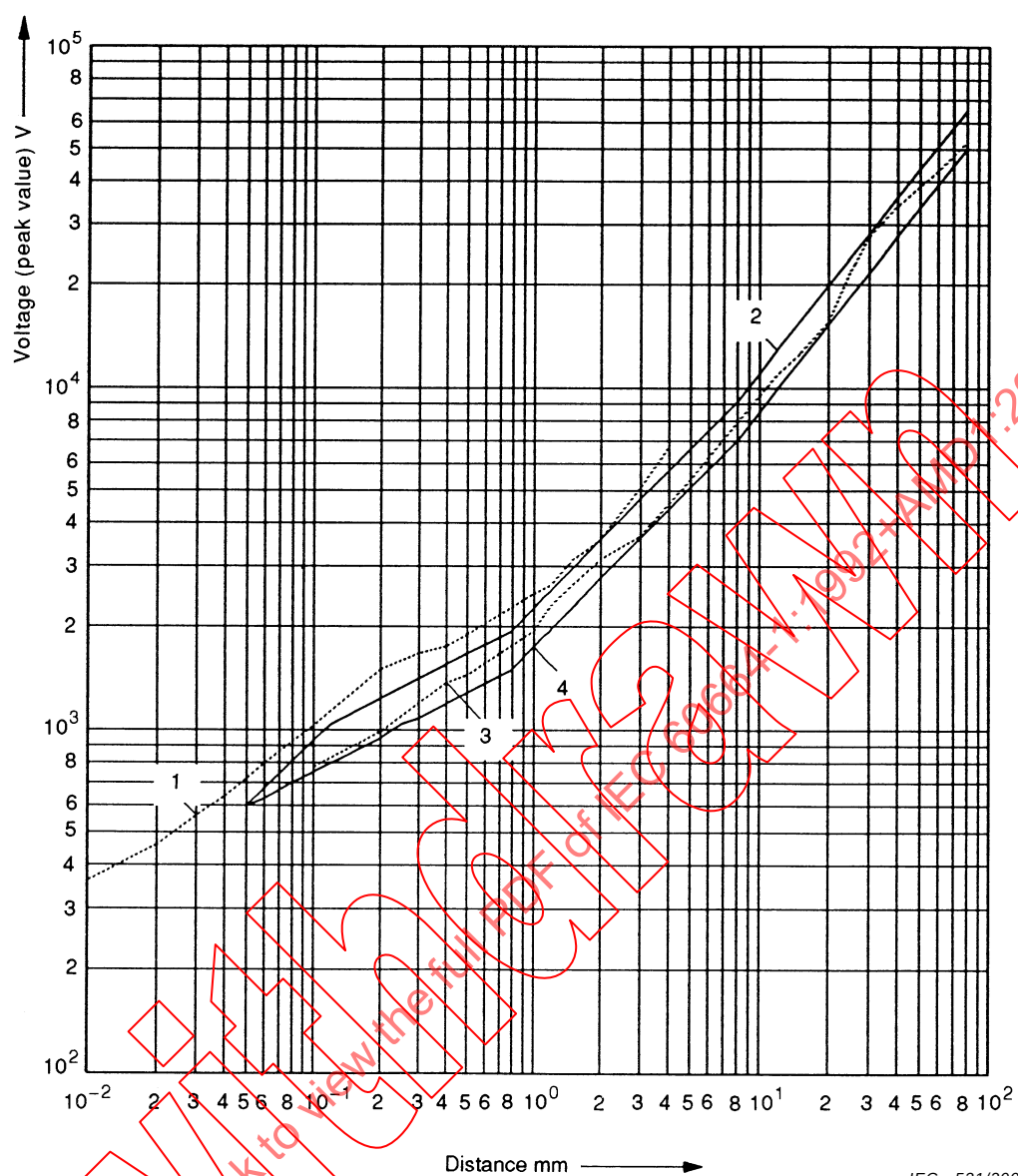
1 = $\hat{U}_{1,2/50}$ d'après ETZ-B, 1976 P.300-302

2 = Limites inférieures pour $\hat{U}_{1,2/50}$

3 = $\hat{U}_{50 \text{ Hz}}$ d'après ETZ-A, 1969 P.251-255

4 = Limites inférieures pour $\hat{U}_{50 \text{ Hz}}$

Figure A.2 – Valeurs expérimentales mesurées approximativement au niveau de la mer avec leurs limites inférieures pour les champs non homogènes



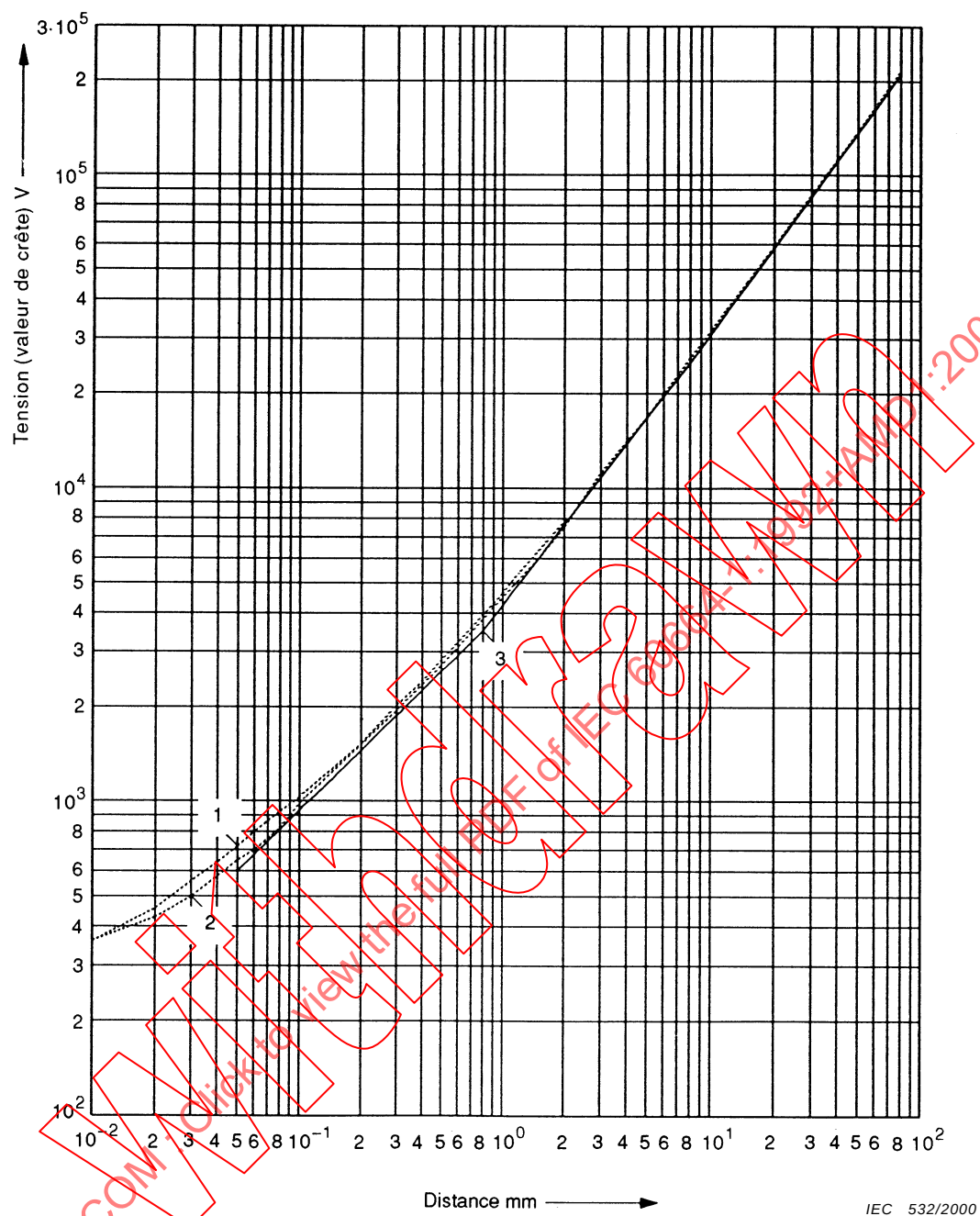
1 = $\dot{U}_{1,2/50}$ according to ETZ-B, 1976 P.300-302

2 = Low limits for $\dot{U}_{1,2/50}$

3 = $\dot{U}_{50 \text{ Hz}}$ according to ETZ-A, 1969 P.251-255

4 = Low limits for $\dot{U}_{50 \text{ Hz}}$

Figure A.2 – Experimental data measured at approximately sea level and their low limits for inhomogeneous field



1 = $\hat{U}_{1,2/50}$ d'après ETZ-B, 1976 P.300-302

2 = $\hat{U}_{50 \text{ Hz}}$ d'après Electra, 1974 P.61-82

3 = Limites inférieures pour $\hat{U}_{1,2/50}$ et $\hat{U}_{50 \text{ Hz}}$

Figure A.3 – Valeurs expérimentales mesurées approximativement au niveau de la mer avec leurs limites inférieures pour les champs homogènes