

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**High-voltage test techniques –
Part 1: General definitions and test requirements**

**Techniques des essais à haute tension –
Partie 1: Définitions et prescriptions générales relatives aux essais**

IECNORM.COM: Click to visit the full PDF of IEC 60060-1:1989



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 1989 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

The IEC on-line Catalogue enables you to search by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details twice a month all new publications released. Available on-line and also by email.

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**High-voltage test techniques –
Part 1: General definitions and test requirements**

**Techniques des essais à haute tension –
Partie 1: Définitions et prescriptions générales relatives aux essais**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

XB

Techniques des essais à haute tension

High-voltage test techniques

Première partie: Définitions et prescriptions
générales relatives aux essais

Part 1: General definitions
and test requirements

CORRIGENDUM

Page 112

Figure 1

Remplacer la figure existante par la nouvelle figure suivante:

Replace the existing figure by the following new figure:

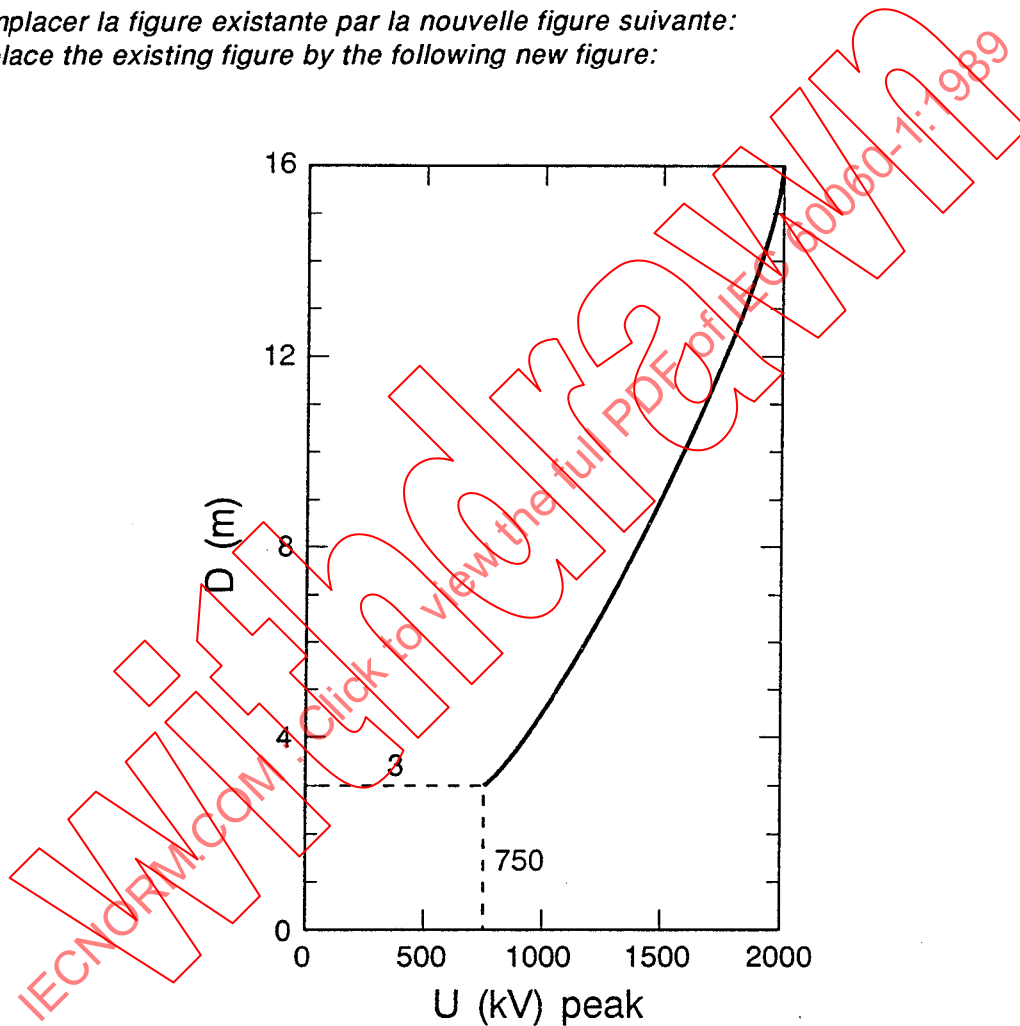


Figure 1 – Distance minimale D des objets sous tension ou à la terre à l'électrode sous tension d'un objet en essai, pendant un essai en tension alternative ou en tension de choc de manoeuvres positive avec tension maximale U appliquée pendant l'essai.

Minimum clearance D of extraneous live or grounded objects to the energized electrode of a test object, during an a.c. or positive switching impulse test at the maximum voltage U applied during test.

SOMMAIRE

	Page
PRÉAMBULE	12
PRÉFACE	12
Articles	
Section 1 : Généralités	14
1 Domaine d'application	14
2 Objet	14
Section 2 : Définitions générales	16
3 Chocs	16
3.1 Chocs de foudre et de manoeuvres	16
4 Caractéristiques relatives à la décharge disruptive et aux tensions d'essai	16
4.1 Décharge disruptive	16
4.2 Caractéristiques de la tension d'essai	18
4.3 Tension de décharge disruptive d'un objet en essai	18
4.4 Caractéristiques statistiques des tensions de décharge disruptive	18
4.5 Tension de tenue d'un objet en essai	20
4.6 Tension de décharge disruptive assurée d'un objet en essai	20
5 Classification des isolations en des objets en essai	20
5.1 Isolation externe	20
5.2 Isolation interne	22
5.3 Isolation autorégénératrice	22
5.4 Isolation non autorégénératrice	22
Section 3 : Prescriptions générales relatives aux modalités d'essais et aux objets en essai	24
6 Prescriptions générales pour les modalités d'essai	24
7 Dispositions générales de l'objet en essai	24
8 Essais à sec	26
9 Essais sous pluie	26
9.1 Procédure normalisée d'essais sous pluie	26
9.2 Modalités traditionnelles d'essais sous pluie sous tension alternative	30

CONTENTS

	Page
FOREWORD	13
PREFACE	13
Clause	
Section 1: General	15
1 Scope	15
2 Object	15
Section 2: General Definitions	17
3 Impulses	17
3.1 Lightning and switching impulses	17
4 Characteristics related to disruptive discharge and test voltages	17
4.1 Disruptive discharge	17
4.2 Characteristics of the test voltage	19
4.3 Disruptive discharge voltage of a test object	19
4.4 Statistical characteristics of disruptive discharge voltages	19
4.5 Withstand voltage of a test object	21
4.6 Assured disruptive discharge voltage of a test object	21
5 Classification of insulation in test objects	21
5.1 External insulation	21
5.2 Internal insulation	23
5.3 Self-restoring insulation	23
5.4 Non-self-restoring insulation	23
Section 3: General Requirements Relating to Test Procedures and Test Objects	25
6 General requirements for test procedures	25
7 General arrangement of the test object	25
8 Dry tests	27
9 Wet tests	27
9.1 Standard wet test procedure	27
9.2 Traditional procedures for wet tests with alternating voltages	31

10	Essais sous pollution artificielle	30
10.1	Préparation de l'objet en essai	32
10.2	Modalités d'essai	32
10.3	Degré de pollution	34
11	Conditions atmosphériques	36
11.1	Atmosphère normalisée de référence	36
11.2	Facteurs de correction atmosphérique	36
11.3	Essais sous pluie, essais sous pollution artificielle et essais avec des tensions combinées	38
11.4	Exigences contradictoires résultant d'essais de l'isolation interne et de l'isolation externes	40
11.5	Mesure de l'humidité	40
Section 4 : Essais en tension continue		42
12	Définitions concernant les essais en tension continue	42
12.1	Valeur de la tension d'essai	42
12.2	Ondulation	42
13	Tension d'essai	42
13.1	Prescriptions relatives à la tension d'essai	42
13.2	Production de la tension d'essai	42
13.3	Mesurage de la tension d'essai	44
13.4	Mesure du courant d'essai	46
14	Modalités d'essais	46
14.1	Essais de tension de tenue	46
14.2	Essais de tension de décharge disruptive	48
14.3	Essais de tension de décharge disruptive assurée	48
Section 5 : Essais en tension alternative		50
15	Définitions concernant les essais en tension alternative	50
15.1	Définitions concernant les essais en tension alternative	50
15.2	Valeur de crête	50
15.3	Valeur efficace	50
16	Tension d'essai	50
16.1	Prescriptions relatives à la tension d'essai	50
16.2	Production de la tension d'essai	52
16.3	Mesure de la tension d'essai	54
17	Modalités d'essais	56
17.1	Essais de tension de tenue	56
17.2	Essais de tension de décharge disruptive	56
17.3	Essais de tension de décharge disruptive assurée	58

10	Artificial pollution tests	31
10.1	Preparation of test object	33
10.2	Test procedures	33
10.3	Degree of pollution	35
11	Atmospheric conditions	37
11.1	Standard reference atmosphere	37
11.2	Atmospheric correction factors	37
11.3	Wet tests, tests under artificial pollution and combined tests	39
11.4	Conflicting requirements for testing internal and external insulation	41
11.5	Measurement of humidity	41
Section 4: Tests with Direct Voltage		43
12	Definitions for direct voltage tests	43
12.1	Value of the test voltage	43
12.2	Ripple	43
13	Test voltage	43
13.1	Requirements for the test voltage	43
13.2	Generation of the test voltage	43
13.3	Measurement of the test voltage	45
13.4	Measurement of the test current	47
14	Test procedures	47
14.1	Withstand voltage tests	47
14.2	Disruptive discharge voltage tests	49
14.3	Assured disruptive discharge voltage tests	49
Section 5: Tests with Alternating Voltage		51
15	Definitions for alternating voltage tests	51
15.1	Definitions for alternating voltage tests	51
15.2	Peak value	51
15.3	R.M.S. value	51
16	Test Voltage	51
16.1	Requirements for the test voltage	51
16.2	Generation of the test voltage	53
16.3	Measurement of the test voltage	55
17	Test procedures	57
17.1	Withstand voltage tests	57
17.2	Disruptive discharge voltage tests	57
17.3	Assured disruptive discharge voltage tests	59

Section 6 : Essais en tension de choc de foudre	60
18 Définitions concernant les essais aux chocs de foudre	60
18.1 Définitions d'application générale	60
18.2 Définitions propres aux tensions de chocs coupées	62
18.3 Courbes tension/temps	64
19 Tension d'essai	64
19.1 Choc de foudre normalisé	64
19.2 Tolérances	64
19.3 Choc de foudre coupé normalisé	66
19.4 Chocs de foudre spéciaux	66
19.5 Production de la tension d'essai	66
19.6 Mesure de la tension d'essai et détermination de la forme du choc	66
19.7 Mesure du courant lors des essais avec des tensions de choc	68
20 Modalités pour les essais	68
20.1 Essais de tension de tenue	68
20.2 Modalités pour essais de tension de décharge disruptive assurée	72
Section 7 : Essais aux chocs de manoeuvres	74
21 Définitions concernant les essais de chocs de manoeuvre	74
21.1 Choc de manoeuvre	74
21.2 Valeur de la tension d'essai	74
21.3 Durée jusqu'à la crête T_p	74
21.4 Durée jusqu'à la mi-valeur T_2	74
21.5 Durée au-dessus de 90 % T_d	74
21.6 Durée jusqu'à zéro T_0	74
21.7 Durée jusqu'à la coupure T_c	76
21.8 Choc à front linéaire	76
22 Tension d'essai	76
22.1 Choc de manoeuvre normalisé	76
22.2 Tolérances	76
22.3 Chocs de manoeuvre spéciaux	76
22.4 Production de la tension d'essai	78
22.5 Mesure de la tension d'essai et détermination de la forme du choc	78
23 Procédures d'essai	78
Section 8 : Essais aux chocs de courant	80
24 Définitions concernant les essais aux chocs de courant	80
24.1 Chocs de courant	80
24.2 Valeur du courant d'essai	80
24.3 Durée du front T_1	80
24.4 Origine conventionnelle O_1	80
24.5 Durée jusqu'à la mi-valeur T_2	80
24.6 Durée de la crête d'un choc de courant rectangulaire T_d	80
24.7 Durée totale d'un choc de courant rectangulaire T_t	82

Section 6: Tests with Lightning Impulse Voltage	61
18 Definitions for lightning impulse tests	61
18.1 Definitions of general applicability	61
18.2 Definitions applicable only to chopped impulses	63
18.3 Voltage/time curves	65
19 Test Voltage	65
19.1 Standard lightning impulse	65
19.2 Tolerances	65
19.3 Standard chopped lightning impulse	67
19.4 Special lightning impulses	67
19.5 Generation of the test voltage	67
19.6 Measurement of the test voltage and determination of impulse shape	67
19.7 Measurement of current during tests with impulse voltages	69
20 Test Procedures	69
20.1 Withstand voltage tests	69
20.2 Procedures for assured discharge voltage tests	73
Section 7: Tests with Switching Impulses	75
21 Definitions for switching impulse tests	75
21.1 Switching impulse	75
21.2 Value of the test voltage	75
21.3 Time to peak T_p	75
21.4 Time to half-value T_2	75
21.5 Time above 90% T_d	75
21.6 Time to zero T_c	75
21.7 Time to chopping T_c	77
21.8 Linearly rising impulse	77
22 Test voltage	77
22.1 Standard switching impulse	77
22.2 Tolerances	77
22.3 Special switching impulses	77
22.4 Generation of the test voltage	79
22.5 Measurement of test voltage and determination of impulse shape	79
23 Test procedures	79
Section 8: Tests with Impulse Current	81
24 Definitions for impulse current tests	81
24.1 Impulse current	81
24.2 Value of the test current	81
24.3 Front time T_1	81
24.4 Virtual origin O_1	81
24.5 Time to half-value T_2	81
24.6 Duration of peak of a rectangular impulse current T_d	81
24.7 Total duration of a rectangular impulse current T_i	83

25	Courant d'essai	82
25.1	Chocs de courant normalisés	82
25.2	Tolérances	82
25.3	Mesure du courant d'essai	84
25.4	Mesure de la tension pendant les essais de courants de choc	84
Section 9 : Essais avec des tensions combinées et essais composites		86
26	Essais sous tensions combinées	86
26.1	Valeur de la tension d'essai U	86
26.2	Décalage temporel Δt	86
26.3	Formes d'ondes de tension réelles	86
26.4	Disposition de l'objet en essai	88
26.5	Facteurs de correction atmosphérique	88
27	Essais composites	88
Annexe A : Traitement statistique des résultats d'essais		90
A.1	Classification des essais	90
A.1.1	Classe 1 : Méthode des paliers multiples	90
A.1.2	Classe 2 : Essais de montée et descente	90
A.1.3	Classe 3 : Méthodes des décharges	90
A.2	Caractère statistique des décharges disruptives	92
A.2.1	Intervalle de confiance et erreur statistique	92
A.3	Analyse des résultats d'essais	94
A.3.1	Traitement des résultats des essais de Classe 1	94
A.3.2	Traitement des résultats des essais de Classe 2	96
A.3.3	Traitement des résultats des essais de Classe 3	96
A.4	Application des méthodes de vraisemblance	98
A.4.1	Fonction de vraisemblance	98
A.4.2	Estimation de U_{50} et z	100
Annexe B : Modalités d'essais sous pollution		102
B.1	Production du brouillard salin	102
B.1.1	Préparation de la solution saline	102
B.1.2	Description détaillée du système de pulvérisation	102
B.2	Méthode d'application et d'humidification de la couche solide	102
B.2.1	Préparation du produit à déposer	102
B.2.2	Principales caractéristiques des matériaux inertes	104
B.2.3	Procédure d'application du revêtement et d'humidification	104
B.3	Mesure du degré de pollution	106
B.3.1	Conductivité de surface	106

25	Test current	83
25.1	Standard impulse currents	83
25.2	Tolerances	83
25.3	Measurement of the test current	85
25.4	Measurement of voltage during tests with impulse current	85
Section 9: Combined and Composite Tests		87
26	Combined voltage tests	87
26.1	Value of the test voltage U	87
26.2	Time delay Δt	87
26.3	Actual voltage shapes	87
26.4	Arrangement of the test object	89
26.5	Atmospheric correction factors	89
27	Composite tests	89
Appendix A: Statistical Treatment of Test Results		91
A.1	Classification of tests	91
A.1.1	Class 1: Multiple-level tests	91
A.1.2	Class 2: Up-and-down tests	91
A.1.3	Class 3: Successive Discharge Tests	91
A.2	Statistical Behaviour of Disruptive Discharge	93
A.2.1	Confidence limits and statistical error	93
A.3	Analysis of Test Results	95
A.3.1	Treatment of Results from Class 1 Tests	95
A.3.2	Treatment of Results from Class 2 Tests	97
A.3.3	Treatment of Results from Class 3 Tests	97
A.4	Application of likelihood methods	99
A.4.1	The likelihood function	99
A.4.2	Estimation of U_{50} and z	101
Appendix B: Pollution Test Procedures		103
B.1	Production of salt fog	103
B.1.1	Preparation of salt solution	103
B.1.2	Details of spraying system	103
B.2	Pre-deposition of pollution, coating and wetting procedure	103
B.2.1	Preparation of coating material	103
B.2.2	Main characteristics of the inert materials	105
B.2.3	Solid coating and wetting procedure	105
B.3	Measurement of the degree of pollution	107
B.3.1	Surface conductivity of the insulating surface	107

B.3.2 Quantité équivalente de chlorure de sodium par cm ² de surface isolante (S.D.D. mg/cm ²)	106
Annexe C : Etalonnage d'un dispositif de mesure non-approuvé à l'aide d'un éclateur pointe/pointe	110
C.1 Disposition générale	110
C.2 Valeurs de référence	110
C.3 Procédure d'étalonnage	110
Figures	112

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60060-1:1989

Withdrawing

B.3.2 Equivalent amount of sodium chloride per square centimetre of the insulating surface (S.D.D. mg/cm ²).	107
Appendix C: Calibration of a Non-Approved Measurement Device with a Rod/Rod Gap	111
C.1 General arrangement of a rod/rod gap	111
C.2 Reference Values	111
C.3 Calibration Procedure	111
Figures	112

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60060-1:1989

Withdwn

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TECHNIQUES DES ESSAIS HAUTE TENSION

Partie 1 : Définitions, prescriptions et modalités relatives aux essais

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Études où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

PRÉFACE

La présente norme a été établie par le Comité d'Études No. 42 de la CEI : Technique des essais à haute tension.

La texte de cette norme est issu des documents suivants :

Règle des Six Mois	Rapport de vote
42(BC)40	42(BC)41

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION**HIGH VOLTAGE TEST TECHNIQUES****Part 1: General definitions and test requirements****FOREWORD**

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects examined.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

This standard has been prepared by IEC Technical Committee 42: High Voltage testing techniques .

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

Six Month's Rule	Report on Voting
42(CO)40	42(CO)41

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

TECHNIQUE DES ESSAIS HAUTE TENSION

PARTIE 1 : DEFINITIONS, PRESCRIPTIONS ET MODALITÉS RELATIVES AUX ESSAIS

Section 1 : Généralités

1 Domaine d'application

La présente norme est applicable :

- aux essais diélectriques en tension continue,
- aux essais diélectriques en tension alternative,
- aux essais diélectriques en tension de choc,
- aux essais en courant de choc,
- aux essais combinant les essais ci-dessus.

Cette norme n'est applicable qu'aux essais de matériels ayant leur tension la plus élevée pour le matériel U_m supérieure à 1 kV.

Elle n'est pas destinée à être utilisée pour les essais de compatibilité électromagnétique sur du matériel électrique ou électronique.

2 Objet

L'objet de la présente norme est :

- de définir les termes d'application générale ou particuliers,
- de présenter les prescriptions générales relatives à l'objet en essai et les modalités d'essai,
- de décrire les méthodes pour produire et mesurer les tensions et les courants d'essai,
- de décrire les modalités d'essai,
- de décrire les méthodes d'interprétation des résultats d'essai et d'indiquer les critères d'acceptation ou de refus.

Les définitions et prescriptions concernant les dispositifs de mesure approuvés et les méthodes de contrôle sont données dans la Publication 60-3 de la CEI : Technique des essais à haute tension — Dispositifs de mesure.

Des variantes aux procédures d'essais peuvent être exigées pour obtenir des résultats reproductibles et significatifs. Le choix de la procédure d'essais doit être fait par le Comité d'Études concerné.

HIGH VOLTAGE TEST TECHNIQUES

PART 1: GENERAL DEFINITIONS AND TEST REQUIREMENTS

Section 1: General

1 Scope

This standard is applicable to:

- dielectric tests with direct voltage;
- dielectric tests with alternating voltage;
- dielectric tests with impulse voltage;
- tests with impulse current;
- tests with combinations of the above.

This standard is applicable only to tests on equipment having its highest voltage for equipment U_m above 1 kV.

This standard is not intended to be used for electromagnetic compatibility tests on electric or electronic equipment.

2 Object

The object of this standard is:

- to define terms of both general and specific applicability;
- to present general requirements regarding test objects and test procedures;
- to describe methods for generation and measurement of test voltages and currents;
- to describe test procedures;
- to describe methods for the evaluation of test results and to indicate criteria for acceptance or refusal.

Definitions and requirements concerning approved measuring devices and checking methods are given in IEC Publication 60-3: High Voltage Test Techniques — Measuring Devices.

Alternative test procedures may be required to obtain reproducible and significant results. The choice of a suitable test procedure should be made by the relevant Technical Committee.

Section 2 : Définitions générales

3 Chocs

Un choc est une tension ou un courant transitoire apériodique appliqué intentionnellement qui habituellement croît rapidement jusqu'à une valeur de crête, puis décroît plus lentement jusqu'à zéro.

Pour des besoins spéciaux, des chocs ayant des fronts approximativement linéaires, ou des transitoires de forme oscillante ou approximativement rectangulaire, sont utilisés.

Le terme «choc» doit être distingué du terme «surtension» qui se réfère aux phénomènes transitoires se produisant dans les matériels électriques et les réseaux en service.

3.1 Chocs de foudre et de manoeuvres

Une distinction est faite entre les chocs de foudre et les chocs de manoeuvre d'après la durée du front. Les chocs dont les durées du front vont jusqu'à 20 μ s sont considérés comme étant des chocs de foudre, et ceux qui ont une durée de front plus longue comme étant des chocs de manoeuvres.

Généralement, les chocs de manoeuvres sont également caractérisés par des durées totales considérablement plus longues que celles des chocs de foudre.

4 Caractéristiques relatives à la décharge disruptive et aux tensions d'essai

4.1 Décharge disruptive

Dans la présente norme, le terme «décharge disruptive», ou quelquefois «claquage», s'applique aux phénomènes associés à la défaillance de l'isolation sous une contrainte électrique, pendant lesquels la décharge court-circuit complètement l'isolation en essai, réduisant la tension appliquée entre les électrodes à une valeur pratiquement nulle. Il s'applique au claquage des diélectriques solides, liquides et gazeux ou de leurs combinaisons.

Des décharges fugitives pendant lesquelles l'objet en essai est court-circuité momentanément par une étincelle ou un arc peuvent se produire. La tension aux bornes de l'objet en essai est alors réduite momentanément à zéro ou à une très faible valeur. Selon les caractéristiques du circuit d'essai et de l'objet, la tenue diélectrique peut être restaurée, la tension d'essai pouvant même être dépassée. Ceci doit être considéré comme une décharge disruptive sauf spécification contraire du Comité d'Études concerné.

Des décharges non-disruptives comme celles entre des électrodes ou des conducteurs intermédiaires peuvent également se produire sans réduction à zéro de la tension d'essai. Il convient de ne pas considérer cette décharge comme une décharge disruptive sauf spécification contraire du Comité d'Études concerné.

Certaines décharges non disruptives sont dénommées «décharges partielles» et sont traitées dans la Publication CEI 270 : Mesure des décharges partielles.

Le terme «amorçage» est utilisé quand une décharge disruptive se produit dans un milieu gazeux ou liquide.

Section 2: General Definitions

3 Impulses

An impulse is an intentionally applied aperiodic transient voltage or current which usually rises rapidly to a peak value and then falls more slowly to zero.

For special purposes, impulses having approximately linearly rising fronts or transients of oscillating or approximately rectangular form are used.

The term "impulse" is to be distinguished from the term "surge" which refers to transients occurring in electrical equipment or networks in service.

3.1 *Lightning and switching impulses*

A distinction is made between lightning and switching impulses on the basis of duration of the front. Impulses with front duration up to 20 μ s are defined as lightning impulses and those with longer fronts are defined as switching impulses.

Generally, switching impulses are also characterized by total durations considerably longer than those of lightning impulses.

4 Characteristics related to disruptive discharge and test voltages

4.1 *Disruptive discharge*

In this standard, the term "disruptive discharge" (sometimes referred to as "electrical breakdown") relates to phenomena associated with the failure of insulation under electrical stress, in which the discharge completely bridges the insulation under test, reducing the voltage between the electrodes practically to zero. It applies to electrical breakdown in solid, liquid and gaseous dielectrics and combinations of these.

Non-sustained disruptive discharge in which the test object is momentarily bridged by a spark or arc may occur. During these events the voltage across the test object is momentarily reduced to zero or to a very small value. Depending on the characteristics of the test circuit and the test object, a recovery of dielectric strength may occur and may even permit the test voltage to reach a higher value. Such an event should be interpreted as a disruptive discharge unless otherwise specified by the relevant Technical Committee.

Non-disruptive discharges such as those between intermediate electrodes or conductors may also occur without reduction of the test voltage to zero. Such an event should not be interpreted as a disruptive discharge unless so specified by the relevant Technical Committee.

Some non-disruptive discharges are termed "partial discharges" and are dealt with in IEC Publication 270: Partial Discharge Measurements.

The term "sparkover" is used when a disruptive discharge occurs in a gaseous or liquid medium.

Le terme «contournement» est utilisé quand une décharge disruptive se produit à la surface d'un diélectrique dans un milieu gazeux ou liquide.

Le terme «perforation» est utilisé quand une décharge disruptive se produit à travers un diélectrique solide.

Une décharge disruptive dans un diélectrique solide conduit à la perte permanente de tenue diélectrique alors que dans un diélectrique liquide ou gazeux la perte peut n'être que temporaire.

4.2 *Caractéristiques de la tension d'essai*

Les caractéristiques d'une tension d'essai sont celles qui sont spécifiées dans cette norme pour définir les différents types de tension d'essai.

4.2.1 *Caractéristiques présumées d'une tension d'essai*

Les caractéristiques présumées d'une tension d'essai produisant une décharge disruptive sont celles qui auraient été obtenues si aucune décharge disruptive ne s'était produite. Lorsqu'il est fait référence aux caractéristiques présumées, ce fait doit être clairement mentionné.

4.2.2 *Caractéristiques réelles d'une tension d'essai*

Caractéristiques de la tension appliquée pendant l'essai aux bornes de l'objet en essai.

4.2.3 *Valeur de la tension d'essai*

Valeur de la tension définie par les articles correspondants de la présente norme.

4.3 *Tension de décharge disruptive d'un objet en essai*

La tension de décharge disruptive d'un objet en essai est la valeur de la tension d'essai provoquant une décharge disruptive, comme spécifiée, pour les différents essais, dans les articles correspondants de la présente norme.

4.4 *Caractéristiques statistiques des tensions de décharge disruptive*

Les tensions de décharge disruptive sont sujettes à des variations aléatoires et, en général, il faut faire un certain nombre d'observations pour obtenir une valeur de la tension ayant une signification statistique. Les procédures d'essai, décrites dans la présente norme, sont généralement fondées sur des considérations statistiques. Des renseignements sur l'évaluation statistique des résultats d'essai sont donnés dans l'Annexe A.

4.4.1 *Probabilité de décharge disruptive p d'un objet en essai*

Probabilité p que l'application d'une tension, d'amplitude présumée et de forme données, conduise à une décharge disruptive sur l'objet en essai. Le paramètre p peut être exprimé sous forme de pourcentage ou de nombre fractionnaire.

The term “flashover” is used when a disruptive discharge occurs over the surface of a dielectric in a gaseous or liquid medium.

The term “puncture” is used when a disruptive discharge occurs through a solid dielectric.

A disruptive discharge in a solid dielectric produces permanent loss of dielectric strength; in a liquid or gaseous dielectric the loss may be only temporary.

4.2 *Characteristics of the test voltage*

The characteristics of a test voltage are those characteristics specified in this standard for designating the different types of voltage excursion that define the test voltage.

4.2.1 *Prospective characteristics of a test voltage*

The prospective characteristics of a test voltage causing disruptive discharge are the characteristics which would have been obtained if no disruptive discharge had occurred. When a prospective characteristic is used, this shall always be stated.

4.2.2 *Actual characteristics of a test voltage*

The actual characteristics of a test voltage are those which occur during the test at the terminals of the test object.

4.2.3 *Value of the test voltage*

The value of the test voltage is defined in the relevant Clauses of the present standard.

4.3 *Disruptive discharge voltage of a test object*

The disruptive discharge voltage of a test object is the value of the test voltage causing disruptive discharge, as specified, for the various tests, in the relevant Clauses of the present standard.

4.4 *Statistical characteristics of disruptive discharge voltages*

Disruptive discharge voltages are subject to random variations and, usually, a number of observations must be made in order to obtain a statistically significant value of the voltage. The test procedures, described in the present standard, are generally based on statistical considerations. Information on the statistical evaluation of test results is given in Appendix A.

4.4.1 *Disruptive discharge probability p of a test object*

The disruptive discharge probability p of a test object is the probability that one application of a certain prospective voltage value of a given shape will cause disruptive discharge in the test object. The parameter p may be expressed as a percentage or a fraction.

4.4.2 Probabilité de tenue q d'un objet en essai

Probabilité q que l'application d'une tension, d'amplitude présumée et de forme données n'entraîne pas de décharge disruptive sur l'objet en essai. Si p est la probabilité de décharge disruptive, la probabilité de tenue q est $(1 - p)$.

4.4.3 Tension 50 % de décharge disruptive U_{50} d'un objet en essai

Valeur de la tension présumée qui a une probabilité de 50 % de produire une décharge disruptive sur l'objet en essai.

4.4.4 Tension p % de décharge disruptive U_p d'un objet en essai

Valeur de la tension présumée qui a une probabilité de p % de produire une décharge disruptive sur l'objet en essai.

4.4.5 Dispersion conventionnelle z de la tension de décharge disruptive d'un objet en essai

La dispersion conventionnelle z de la tension de décharge disruptive d'un objet en essai est la différence entre ses tensions de décharge disruptive 50 % et 16 %. Elle est souvent exprimée en valeur par unité ou en pour cent, rapportée à la tension de décharge disruptive 50 %.

NOTE — Si la fonction de probabilité de décharge disruptive (voir Annexe A) est proche d'une fonction de répartition gaussienne, z sera proche de son écart type.

4.5 Tension de tenue d'un objet en essai

La tension de tenue d'un objet en essai est une tension présumée spécifiée qui caractérise l'isolation de cet objet en ce qui concerne un essai de tenue.

Sauf spécification contraire, les tensions de tenue font référence aux conditions atmosphériques de référence normalisées (voir Article 11.1).

4.6 Tension de décharge disruptive assurée d'un objet en essai

La tension de décharge disruptive assurée d'un objet en essai est une tension présumée spécifiée qui caractérise ses performances en ce qui concerne un essai de décharge disruptive.

5 Classification des isolations en des objets en essai

Les systèmes d'isolation de l'appareillage ou les structures à haute tension seront classés comme isolations autorégénératrices ou non autorégénératrices. Ils peuvent comprendre des isolations externes et/ou internes.

5.1 Isolation externe

L'isolation externe est constituée par les intervalles d'air et les surfaces exposées des isolations solides d'un matériel qui sont soumis à la fois aux contraintes diélectriques et à l'influence des conditions atmosphériques ou d'agents externes tels que la pollution, l'humidité et les animaux.

4.4.2 *Withstand probability q of a test object*

The withstand probability q of a test object is the probability that one application of a certain prospective voltage value of a given shape does not cause a disruptive discharge on the test object. If the disruptive discharge probability is p , the withstand probability q is $(1 - p)$.

4.4.3 *50% disruptive discharge voltage U_{50} of a test object*

The 50% disruptive discharge voltage is the prospective voltage value which has a 50% probability of producing a disruptive discharge on the test object.

4.4.4 *$p\%$ disruptive discharge voltage U_p of a test object*

The $p\%$ disruptive discharge voltage of a test object is the prospective voltage value which has $p\%$ probability of producing a disruptive discharge on the test object.

4.4.5 *Conventional deviation z of the disruptive discharge voltage of a test object*

The conventional deviation z of the disruptive discharge voltage of a test object is the difference between its 50% and 16% disruptive discharge voltages. It is often expressed in per unit or percentage value, referred to the 50% disruptive discharge voltage.

NOTE — If the disruptive-discharge probability function (see Appendix A) is close to a Gaussian function, z is correspondingly close to its standard deviation.

4.5 *Withstand voltage of a test object*

The withstand voltage of a test object is a specified prospective voltage value which characterizes the insulation of the object with regard to a withstand test.

Unless otherwise specified, withstand voltages are referred to standard reference atmospheric conditions (see Clause 11.1).

4.6 *Assured disruptive discharge voltage of a test object*

The assured disruptive discharge voltage of a test object is a specified prospective voltage value which characterizes its performance with regard to a disruptive discharge test.

5 **Classification of insulation in test objects**

Insulation systems of apparatus and high voltage structures must basically be classified into self-restoring and non-self-restoring insulation and may consist of external and/or internal insulation.

5.1 *External insulation*

External insulation is the air insulation and the exposed surfaces of solid insulation of the equipment, which are subject both to dielectric stresses and to the effects of atmospheric and other external conditions such as pollution, humidity and vermin.

5.2 *Isolation interne*

L'isolation interne est constituée par les éléments internes solides, liquides ou gazeux de l'isolation d'un matériel, qui sont à l'abri de l'influence des conditions atmosphériques ou d'autres agents externes tels que la pollution, l'humidité et les animaux.

5.3 *Isolation autorégénératrice*

Isolation qui retrouve intégralement ses propriétés isolantes après une décharge disruptive produite par l'application d'une tension d'essai.

5.4 *Isolation non autorégénératrice*

Isolation qui perd ses propriétés isolantes, ou ne les retrouve pas intégralement après une décharge disruptive produite par l'application d'une tension d'essai.

NOTE — Les appareils à haute tension comportent toujours une combinaison des isolations autorégénératrice et non autorégénératrice. Certaines parties peuvent être dégradées par des applications de tensions successives ou permanentes. Le comportement de ces isolations doit être considéré par le Comité d'Études concerné lors de la spécification des procédures d'essais.

5.2 *Internal insulation*

Internal insulation comprises the internal solid, liquid or gaseous elements of the insulation of equipment, which are protected from the effects of atmospheric and other external conditions such as pollution, humidity and vermin.

5.3 *Self-restoring insulation*

Self-restoring insulation is the insulation which completely recovers its insulating properties after a disruptive discharge caused by the application of a test voltage.

5.4 *Non-self-restoring insulation*

Non-self-restoring insulation is insulation which loses its insulating properties, or does not recover them completely, after a disruptive discharge caused by the application of a test voltage.

NOTE — In high voltage apparatus, parts of both self-restoring and non-self-restoring insulation are always operating in combination and some parts may be degraded by repeated or continued voltage applications. The behaviour of the insulation in this respect shall be taken into account by the relevant Technical Committee when specifying the test procedures to be applied.

Section 3 : Prescriptions générales relatives aux modalités d'essais et aux objets en essai

6 Prescriptions générales pour les modalités d'essai

Les procédures d'essai à appliquer pour des types particuliers d'objets en essai, par exemple la polarité à appliquer, l'ordre préférentiel si les deux polarités sont à appliquer, le nombre d'applications et l'intervalle de temps entre chaque application, doivent être spécifiés par le Comité d'Études concerné, en tenant compte de facteurs tels que :

- la précision exigée pour les résultats d'essais,
- la nature aléatoire du phénomène de décharge et l'influence de la polarité sur les caractéristiques mesurées,
- le risque d'une détérioration progressive en cas d'applications répétées de la tension.

7 Dispositions générales de l'objet en essai

Au moment de l'essai, l'objet en essai doit être complet, avec tous ses accessoires, et il doit normalement avoir subi le traitement normal pour un objet similaire.

Les caractéristiques d'amorçage de l'objet en essai peuvent être affectées par la disposition d'ensemble de cet objet (par exemple par la distance aux objets voisins sous tension ou à la terre, par sa hauteur au-dessus du sol, par la disposition du conducteur d'amenée de la tension). Ceci doit être spécifié par le Comité d'Études concerné.

Une distance aux structures voisines au moins égale à 1,5 fois la longueur du plus court trajet possible pour le contournement de l'objet rend généralement ces effets de proximité négligeables. Lors des essais sous pluie ou sous pollution, ou lorsque la répartition de la tension le long de l'objet en essai et le champ électrique au voisinage de son électrode sous tension sont suffisamment indépendants des influences externes, de plus petites distances peuvent être acceptables à condition qu'aucun amorçage ne se produise aux structures voisines.

Dans le cas d'essais avec des tensions alternatives ou des chocs de manoeuvre positifs d'une valeur supérieure à 750 kV (crête), l'influence d'une structure voisine peut être considérée comme négligeable si sa distance à l'électrode sous tension n'est pas inférieure à la hauteur de cette électrode au-dessus du sol. Une limite inférieure pratique pour cette distance est donnée sur la figure 1, en fonction de la plus haute tension d'essai.

Un essai de tenue est acceptable lorsqu'il est exécuté avec succès avec de plus petites distances aux objets à la terre.

Section 3: General Requirements Relating to Test Procedures and Test Objects

6 General requirements for test procedures

The test procedures applicable to particular types of test objects, for example, the polarity to be used, the preferred order if both polarities are to be used, the number of applications and the interval between applications shall be specified by the relevant Technical Committee, having regard to such factors as:

- the required accuracy of test results;
- the random nature of the observed phenomenon and any polarity dependence of the measured characteristics;
- the possibility of progressive deterioration with repeated voltage applications.

7 General arrangement of the test object

At the time of a test, the test object shall be complete in all essential details, and it should have been processed in the normal manner for similar equipment.

The disruptive discharge characteristics of an object may be affected by its general arrangement (for example, by its clearance from other live or grounded structures, its height above ground level and the arrangement of its high voltage lead). The general arrangement should be specified by the relevant Technical Committee.

A clearance to extraneous structures not less than 1,5 times the length of the shortest possible discharge path on the test object usually makes such proximity effects negligible. In wet or pollution tests, or wherever the voltage distribution along the test object and the electric field around its energized electrode are sufficiently independent of external influences, smaller clearances may be acceptable, provided that discharges do not occur to extraneous structures.

In the case of a.c. or positive switching impulse tests above 750 kV (peak) the influence of an extraneous structure may be considered as negligible if its distance from the energized electrode is also not less than the height of this electrode above the ground plane. A practical lower limit to this clearance is given in figure 1, as a function of the highest test voltage.

A withstand test may be acceptable when successfully performed with shorter distances to earthed objects.

8 Essais à sec

L'objet en essai doit être sec et propre. Sauf spécification contraire du Comité d'Études concerné, l'essai doit être exécuté à la température ambiante et les modalités d'application de la tension doivent être telles que spécifiées dans les articles spécifiques de la présente norme.

9 Essais sous pluie

La procédure privilégiée d'essai sous pluie décrite en 9.1 a pour but de simuler les effets de la pluie naturelle sur l'isolation externe et constitue une révision des méthodes d'essai précédentes. Cette méthode est recommandée pour les essais avec tous les types de tensions d'essai et tous les types d'appareils, mais voir ci-après.

Deux méthodes antérieures, non conçues pour simuler la pluie naturelle, sont décrites en 9.2. Elles ont été utilisées pendant de nombreuses années pour des essais sous tension alternative sur des appareils de tension la plus élevée pour le matériel U_m jusqu'à 420 kV et il existe de nombreux résultats obtenus par ces méthodes. Leur emploi doit être spécifié par le Comité d'Études concerné ou par les parties en présence si nécessaire.

Pour les appareils à courant alternatif de grandes dimensions, comme ceux qui ont une tension U_m supérieure à 800 kV, aucune méthode d'essai sous pluie n'est disponible actuellement.

Le Comité d'Études concerné doit spécifier la disposition de l'objet en essai.

9.1 Procédure normalisée d'essais sous pluie

L'objet en essai doit être aspergé d'eau ayant une résistivité et une température telles que prescrites (voir tableau 1), tombant sur lui sous forme de gouttelettes (en évitant le brouillard et la bruine) dirigées de telle façon que les composantes verticale et horizontale du jet soient approximativement égales. Ces intensités sont mesurées à l'aide d'un récipient à deux compartiments ayant deux ouvertures de 100 cm² à 750 cm², l'une horizontale et l'autre verticale, cette dernière faisant face à l'aspersion.

La position de l'objet en essai par rapport aux composantes verticales et horizontales doit être spécifiée par le Comité d'Études concerné.

En général, la reproductibilité des résultats d'essais sous pluie est inférieure à celles des autres essais d'amorçage ou de tenue à haute tension. Pour réduire la dispersion les précautions suivantes doivent être prises :

- Le récipient doit être placé près de l'objet en essai mais en évitant qu'il reçoive des éclaboussures venant de l'objet. Pendant la période de mesure, il convient de déplacer lentement le récipient sur une surface assez large pour obtenir la moyenne de la précipitation non uniforme des gicleurs individuels sans toutefois masquer l'effet de non uniformité. La zone de mesure doit avoir une largeur égale à celle de l'objet en essai et une hauteur maximale de 1 m.
- Pour les objets de hauteur comprise entre 1 m et 3 m, les mesures individuelles doivent être réalisées vers le haut, le milieu et le bas de l'objet. Chaque zone de mesure doit couvrir un tiers de la hauteur de l'objet.

8 Dry tests

The test object shall be dry and clean. If not otherwise specified by the relevant Technical Committee, the test should be made at ambient temperature and the procedure for voltage application shall be as specified in the relevant Clauses of this standard.

9 Wet tests

The preferred wet test procedure, described in 9.1, is intended to simulate the effect of natural rain on external insulation and is a revision of earlier test methods. It is recommended for tests with all types of test voltages and on all types of apparatus, but either of the alternative test methods given below are permitted if specified by the relevant Technical Committee.

Two earlier test methods, not intended to simulate natural rain, are described in 9.2. They have been in use for many years for tests with alternating voltages on apparatus having U_m up to 420 kV and many test data obtained by these methods exist.

For a.c. apparatus of large dimensions, such as those having U_m higher than 800 kV, no appropriate wet test procedure is available at present.

The relevant Technical Committee shall specify the arrangement of the test object during the test procedure.

9.1 Standard wet test procedure

The test object shall be sprayed with water of prescribed resistivity and temperature (see table 1) falling on it as droplets (avoiding fog and mist) and directed so that the vertical and horizontal components of the spray intensity are approximately equal. These intensities are measured with a divided collecting vessel having openings of 100 cm² to 750 cm², one horizontal and one vertical, the vertical opening facing the spray.

The position of the test object relative to the vertical and horizontal rain components shall be specified by the relevant Technical Committee.

In general, the reproducibility of wet test results is less than that for other high voltage discharge or withstand tests. To minimize the dispersion the following precautions shall be taken:

- The collecting vessel shall be placed close to the test object, but avoiding the collection of drops or splashes from it. During the measuring period, it should be moved slowly over a sufficient area to average but not completely mask the effect of non-uniformities of the spray from individual nozzles. This measuring zone shall have a width equal to that of the test object and a maximum height of 1 m.
- For test objects between 1 m and 3 m in height, the individual measurements shall be made at the top, centre and bottom of the test object. Each measuring zone shall cover only one third of the height of the test object.

- Pour les objets dépassant 3 m, on augmente le nombre de zones de mesure pour couvrir complètement la hauteur de l'objet mais sans recouvrement de ces zones.
- Les modalités définies ci-dessus doivent être convenablement adaptées aux objets en essai de grandes dimensions horizontales.
- La dispersion des résultats peut être réduite en nettoyant l'objet en essai avec un détergent non ionique que l'on doit enlever avant le début de la pluie.
- Des taux d'aspersion localement anormaux (élevés ou faibles) peuvent également affecter la dispersion des résultats. Il est recommandé de les détecter par des mesures individuelles et d'améliorer l'uniformité de l'aspersion si nécessaire.

Le dispositif d'aspersion doit être réglé pour produire sur l'objet en essai les caractéristiques d'aspersion données dans le tableau 1, avec les tolérances spécifiées.

On peut utiliser divers types et diverses dispositions de gicleurs répondant aux prescriptions du tableau 1. Les figures 2a et 2b, et la figure 2c, donnent l'exemple de plusieurs gicleurs qui ont donné satisfaction à l'usage, ainsi que leurs caractéristiques respectives. On peut asperger à des distances plus grandes si les gicleurs sont orientés avec un angle de 15° à 25° au-dessus de l'horizontale. Noter que si l'on dépasse les pressions d'eau recommandées, le jet d'eau peut se diviser prématurément, donnant une aspersion non satisfaisante de l'objet en essai.

Tableau 1 — Caractéristiques d'aspersion pour la procédure normalisée

Taux d'aspersion moyen de toutes les mesures :		
— composante verticale	mm/min	1,0 à 2,0
— composante horizontale	mm/min	1,0 à 2,0
Valeurs extrêmes pour chaque mesure par individuelle et pour chaque rapport à la composante moyenne	mm/min	±0,5
Température de l'eau	°C	Température ambiante ±15
Résistivité de l'eau	Ω m	100 ± 15

La température et la résistivité de l'eau doivent être mesurées sur un échantillon prélevé juste avant que l'eau n'atteigne l'objet en essai. On peut réaliser ces mesures en un autre endroit (au niveau de la bache de stockage par exemple) pourvu qu'une vérification atteste qu'aucune modification significative n'est apparue jusqu'à l'instant où l'eau atteint l'objet.

En premier lieu, l'objet en essai doit être préaspergé pendant au moins 15 min dans les conditions spécifiées ci-dessus et ces conditions doivent être maintenues à l'intérieur des tolérances pendant tout l'essai sans interrompre l'aspersion. Le temps de préaspersion ne comprend pas le temps nécessaire aux réglages. On peut également effectuer une première préaspersion avec de l'eau ordinaire pendant 15 min, suivie sans interruption par une seconde préaspersion d'une durée minimale de 2 min avant le début de

- For test objects exceeding 3 m in height, the number of measuring zones shall be increased to cover the full height of the test object without overlapping.
- The above procedures shall be suitably adapted for test objects having large horizontal dimensions.
- The spread of results may be reduced if the test object is cleaned with a surface-active detergent which has to be removed before the beginning of wetting.
- The spread of results may also be affected by local anomalous (high or low) precipitation rates. It is recommended to detect these by localized measurements and to improve the uniformity of the spray, if necessary.

The spray apparatus shall be adjusted to produce, within the specified tolerances, precipitation conditions at the test object given in table 1.

Any type and arrangement of nozzles meeting the requirements given in table 1 may be used. Examples of several nozzles which have been found satisfactory in practice are shown in figures 2a, 2b and 2c, together with typical performance data for each type. Greater spray distances may be obtained if the nozzles are directed upward at an angle of about 15°–25° to the horizontal. Note that if the water pressure is increased above the recommended limits, the water jets may break up prematurely and cause an unsatisfactory spray at the test object.

Table 1 — Precipitation conditions for standard procedure

Average precipitation rate of all measurements		
— vertical component	mm/min	1,0 to 2,0
— horizontal component	mm/min	1,0 to 2,0
Limits for any individual measurement and for each component	mm/min	±0,5 from average
Temperature of water	°C	Ambient temperature ±15
Resistivity of water	Ω m	100 ± 15

The water temperature and resistivity shall be measured on a sample collected immediately before the water reaches the test object. They may also be measured at other locations (e.g., in a storage reservoir) provided that a check ensures that no significant change occurs by the time the water reaches the test object.

The test object shall be pre-wetted initially for at least 15 min under the above specified conditions and these conditions shall remain within the specified tolerances throughout the test which should be performed without interrupting the wetting. The pre-wetting time shall not include the time needed for adjusting the spray. It is also possible to perform an initial pre-wetting by unconditioned mains water for 15 min, followed without interruption of the spray by a second pre-wetting for at least 2 min before the test begins,

l'essai, avec de l'eau satisfaisant pleinement aux conditions d'aspersion, ce qu'il convient de vérifier immédiatement avant l'essai.

Sauf spécification contraire du Comité d'Études concerné, les modalités des essais sous pluie doivent être identiques à celles spécifiées pour les essais correspondants à sec. Sauf spécification contraire, la durée d'un essai sous tension alternative doit être de 60 s. En général, pour tous les essais de tenue sous pluie et sous tension alternative ou continue, il est recommandé d'admettre un amorçage à condition que, lors de la reprise de l'essai aucun amorçage ne se produise.

9.2 Modalités traditionnelles d'essais sous pluie sous tension alternative

Pour les essais sous tension alternative, deux autres méthodes, dont les détails sont donnés dans le tableau 2, sont également en usage. Elles diffèrent de la procédure normalisée du paragraphe 9.1 principalement par le fait que le taux d'aspersion est plus grand et que le temps de préaspersion est de 1 min seulement.

Seule la composante verticale de l'aspersion est spécifiée; la détermination de la composante horizontale est remplacée par une estimation visuelle de l'angle d'aspersion sur l'objet en essai, qui devra être de 45° environ.

Tableau 2 — Caractéristiques d'aspersion pour les modalités traditionnelles sous tension alternative

Caractéristiques		Pratique européenne	Pratique américaine
Taux d'aspersion moyen de toutes les mesures :			
— composante verticale	mm/min	3 ± 0,3	5 ± 0,5
Valeur extrêmes pour chaque mesure individuelle	mm/min	3 ± 0,75	5 ± 1,25
Température de l'eau	°C	Température ambiante ±15	
Résistivité de l'eau	Ωm	100 ± 10	178 ± 27
Comme représenté aux figures		2a, 2b, 2c	2d
Durée de l'essai de tenue sous pluie	s	60	10

10 Essais sous pollution artificielle

Les essais sous pollution artificielle ont pour but de donner des informations sur le comportement de l'isolation externe dans des conditions de pollution représentatives de celles du réseau, même si tous les cas particuliers ne sont pas nécessairement couverts.

using water with all the correct precipitation conditions, which should be measured immediately before starting the test.

Unless otherwise specified by the relevant Technical Committee, the test procedure for wet tests shall be the same as that specified for the corresponding dry tests. The test duration for an a.c. test shall be 60 s, if not otherwise specified. In general, for alternating and direct voltage wet withstand tests, it is recommended that one flashover should be permitted provided that in a repeat test no further flashover occurs.

9.2 Traditional procedures for wet tests with alternating voltages

For alternating voltage tests, two other procedures are also in use, details of which are given in table 2. They differ from the standard procedure, 9.1, primarily in that the precipitation rates are higher and that the minimum pre-wetting time is only 1 m.

Only the vertical component of the spray is specified; determination of the horizontal component is replaced by a visual estimate of the spray angle which should be approximately 45° at the test object.

Table 2 — Precipitation conditions for traditional procedures with alternating voltages

Characteristics		European practice	Practice in U.S.A.
Average precipitation rate of all measurements:			
— vertical component	mm/min	$3 \pm 0,3$	$5 \pm 0,5$
Limits for any individual measurement	mm/min	$3 \pm 0,75$	$5 \pm 1,25$
Water temperature	°C	Ambient temperature ± 15	
Water resistivity	Ω m	100 ± 10	178 ± 27
Type of nozzle as shown in figures		2a,2b ,2c	figure 2d
Duration of wet withstand test	s	60	10

10 Artificial pollution tests

Artificial pollution tests are intended to provide information on the behaviour of external insulation under conditions representative of pollution in service, although they do not necessarily simulate any particular service conditions.

Les règles qui suivent constituent une orientation générale pour l'essai sous pollution artificielle. Il est laissé au Comité d'Études concerné le soin d'introduire des variantes ou des exigences spécifiques pour des classes particulières de matériel. Ces renseignements figurent dans la norme CEI 507, «Essais sous pollution des isolateurs pour haute tension destinés aux réseaux à courant alternatif».

Les effets du lavage par la pluie naturelle des isolateurs sur le réseau ne sont pris en considération dans aucune des procédures spécifiées.

10.1 Préparation de l'objet en essai

Avant le premier essai, les parties métalliques de l'objet en essai ainsi que tous les scellements peuvent, si nécessaire, être peints avec une peinture résistant à l'eau salée pour s'assurer qu'aucun produit corrosif ne se dépose, durant l'essai, sur les surfaces isolantes.

Il convient de nettoyer soigneusement l'objet en essai avec de l'eau du robinet additionnée de phosphate trisodique (Na_3PO_3) et de le rincer à l'eau claire. Il ne devra pas être manipulé par la suite. On estime que les surfaces isolantes sont suffisamment propres et nettes de graisse ou autre dépôt, si il est possible d'observer lors du mouillage de grandes surfaces humides.

Le Comité d'Études concerné doit décider s'il convient d'essayer le matériel en position verticale, horizontale ou inclinée.

10.2 Modalités d'essai

Les essais sous pollution comprennent l'application de la pollution et simultanément ou ultérieurement l'application de la tension. On ne recommande en général que les méthodes qui prévoient l'application d'une tension constante pendant au moins quelques minutes. Les autres méthodes qui prévoient une augmentation continue de la tension jusqu'au contournement ne sont pas proposées en vue d'une normalisation mais peuvent être utilisées dans des cas particuliers.

L'essai sous pollution peut être réalisé soit pour déterminer le degré maximal de pollution compatible avec une tension de tenue donnée, soit pour déterminer la tension de tenue à degré de pollution donné. Cette dernière procédure est préférable s'il s'agit de comparer des résultats d'essais, ou les performances de plusieurs matériels. Quelle que soit la procédure choisie, il convient que le nombre de mesures permette d'obtenir des valeurs moyennes significatives compte tenu de la nature aléatoire du phénomène. Le nombre d'essai recommandé sera spécifiée par le Comité d'Études concerné.

Les essais sous pollution peuvent être classés en deux catégories : la méthode du brouillard salin et la méthode de la couche solide.

a) Méthode du brouillard salin

L'objet en essai est disposé dans une chambre spéciale qui peut être remplie de brouillard salin. La méthode pour produire le brouillard est décrite en Annexe B1. Il convient que la température ambiante de la chambre au début de l'essai ne soit ni inférieure à 5°C ni supérieure à 30°C et que l'objet en essai et l'eau salée soient en équilibre thermique avec l'ambiante.

L'objet en essai est soigneusement mouillé avec de l'eau du robinet claire. Le système de pulvérisation du brouillard salin, alimenté en eau de salinité prescrite, est mis en marche alors que l'objet en essai est encore mouillé, et simultanément la tension est appliquée à l'objet, augmentée rapidement jusqu'à la valeur spécifiée et maintenue constante pendant la durée spécifiée, en général une heure, ou jusqu'à l'amorçage.

The following specifications give some general guidance on artificial pollution testing. It is left to the relevant Technical Committee to introduce variations or to give more specific requirements for particular classes of apparatus. Such specific information is given in one instance by IEC 507.

The effects of washing of insulators in service by natural rain is not taken into consideration in any of the specified procedures.

10.1 *Preparation of test object*

Before testing for the first time, the metal parts of the test object, and any cement joints, may be painted with salt-water-resistant paint to ensure that corrosion products will not contaminate the insulating surfaces during a test.

The test object should then be carefully cleaned by washing with tap water to which trisodium phosphate (Na_3PO_3) has been added and rinsed with clean tap water. It shall not subsequently be touched by hand. Usually the insulating surfaces can be considered sufficiently clean and free of grease or other contaminating material if large continuous wet areas are observed during wetting.

It is left to the relevant Technical Committee to decide whether the test object should be tested in a vertical, horizontal or an inclined position.

10.2 *Test procedures*

Artificial pollution tests involve application of the pollution and the simultaneous or subsequent application of voltage. Generally, only methods in which the test voltage is held constant for at least several minutes are recommended. Other methods in which the voltage is raised gradually to flashover are not proposed for standardization but may be used for special purposes.

The pollution test may be made either to determine the maximum degree of pollution of the test object which allows a given test voltage to be withstood, or to determine the withstand voltage for a specified degree of pollution. For the purpose of comparing the results of several tests, or the performance of several test objects, the former procedure is preferable. Whichever test procedure is adopted, the number of measurements should be sufficient to obtain consistent average values, taking into account the statistical nature of the phenomenon. The number of tests required shall be specified by the relevant Technical Committee.

The pollution tests fall into two categories, the salt-fog method and the pre-deposited pollution method.

a) *The salt-fog method*

The test object is placed in a special chamber which can be filled by a salt fog. The method for producing the fog is described in Appendix B1. The ambient temperature in the chamber at the start of the test shall not be less than 5°C, nor greater than 30°C and the test object and the salt water shall be in thermal equilibrium with the ambient temperature.

The test object is thoroughly wetted with clean tap water. The salt-fog system, supplied by water of the prescribed salinity, is started when the test object is still wet and, simultaneously, the voltage is applied to the test object, raised rapidly to the specified value and kept constant during the specified time, usually

Cette procédure est répétée à plusieurs reprises. A chaque fois, l'objet en essai est soigneusement lavé avec de l'eau du robinet propre pour enlever toute trace de sel.

Pour la méthode du brouillard salin, la distance minimale entre toute partie de l'objet et un quelconque objet à la terre, autre que les jets et la structure support de l'objet, ne doit pas être inférieure à 0,5 m par 100 kV de tension d'essai et de toute façon pas inférieure à 2 m.

Si l'essai est destiné à déterminer le degré maximal de salinité à tension de tenue spécifiée, la procédure doit être reprise avec diverses salinités.

On doit effectuer avant le début réel de l'essai, un préconditionnement de l'objet en essai par un certain nombre d'amorçages durant l'application de la pollution. Ce préconditionnement doit également être suivi par un lavage.

b) Méthode de la couche solide

L'objet en essai est revêtu d'une couche raisonnablement uniforme de suspension conductrice qu'on laisse sécher. La température ambiante de la chambre d'essai au début de l'essai ne doit être en principe ni inférieure à 5°C ni supérieure à 30°C. L'objet en essai doit être en équilibre thermique avec l'ambiante. L'humidification doit être réalisée avec un générateur de brouillard vapeur qui assure une répartition uniforme de brouillard sur toute la longueur et autour de l'objet en essai. La température du brouillard au voisinage de l'objet ne doit pas dépasser 40°C. Pour obtenir l'humidification souhaitée dans un temps raisonnable, on doit introduire dans la chambre une quantité suffisante de brouillard vapeur. Le débit de vapeur doit être spécifié par le Comité d'Études concerné.

Selon une procédure, la tension est appliquée avant que l'objet soit humidifié par le brouillard et jusqu'à l'amorçage ou pour une durée égale à deux fois le temps nécessaire pour que la conductivité de l'objet ait atteint son niveau maximum. Selon l'autre procédure, la tension n'est appliquée qu'au moment où la conductivité est maximale, soit 20 à 40 min environ après le début de l'aspersion. La tension doit être maintenue constante pendant la durée spécifiée de 15 min ou jusqu'à ce qu'un amorçage se produise.

Les Annexes B2 et B3 donnent respectivement des modèles d'application de la couche et d'humidification d'une part, et de mesure de la résistivité de surface d'autre part.

La procédure ci-dessus peut être répétée plusieurs fois; avant chaque essai, l'objet doit être lavé, enduit, puis séché.

Quand l'essai est destiné à déterminer le degré maximum de pollution à tension de tenue donnée, l'ensemble des procédures doit être répété en utilisant diverses résistivités de suspension.

La distance minimale entre toute partie de l'objet en essai et un quelconque objet à la terre autre que la structure support de l'objet ne doit pas être inférieure à 0,5 m par 100 kV de tension d'essai.

10.3 Degré de pollution

Le degré de pollution d'un objet en essai est spécifié à l'aide de la salinité (g/L) du brouillard salin, ou de la conductivité de surface (μ) ou par la quantité de sel (NaCl) par cm^2 de surface isolante. Cette dernière est en général désignée par Densité de Dépôt du Sel (S.D.D.). L'annexe B3 donne des renseignements sur ces méthodes.

1 h, or until flashover occurs. This procedure is repeated several times. Before each procedure the test object is thoroughly washed with clean tap water to remove any trace of salt.

For the salt-fog method, the minimum distance between any part of the test object and any earthed object other than the jets and the structure which supports the insulator shall be not less than 0,5 m per 100 kV of the test voltage and, in any case, not less than 2 m.

If the test is intended to determine the maximum degree of salinity for a specified withstand voltage, the whole procedure must be repeated using various salinities.

Pre-conditioning of the test object by a number of flashovers during the application of pollution is required before the real test begins. This pre-conditioning should be followed by a washing.

b) The pre-deposited pollution method

The test object is coated with a reasonably uniform layer of a conductive suspension and shall be permitted to dry. The ambient temperature in the test chamber at the start of the test should not be less than 5°C nor greater than 30°C and the test object should be in thermal equilibrium with the ambient. The wetting shall be accomplished by means of a steam fog generator which provides a uniform fog distribution over the whole length and around the test object. The temperature of the fog in the vicinity of the test object shall not exceed 40°C. To obtain the necessary wetting within a reasonable time, enough steam fog shall be introduced inside the test chamber. The steam generation rate shall be specified by the relevant Technical Committee.

In one procedure the voltage is applied before the test object is wetted by the fog and continues until flashover or for about twice the time for the insulator to achieve its maximum conductivity. In another procedure, the test voltage is applied only when the conductivity has reached its maximum value, which should occur between 20 and 40 min from the start of fogging. The voltage shall be kept constant during the specified 15-min test time or until flashover occurs.

Examples of suitable coating and wetting procedures and of the measurement of the surface resistivity are given in Appendix B.

The procedure above may be repeated several times; before each test, the test object shall be washed, re-coated and allowed to dry.

When the test is intended to determine the maximum degree of pollution for a specified withstand voltage, the coating, wetting and test procedures must be repeated using various suspension resistivities.

The minimum distance between any part of the test object and any earthed object other than the structure which supports the test object shall be not less than 0,5 m per 100 kV of the test voltage.

10.3 Degree of pollution

The degree of pollution of a test object is specified by the salinity (g/L) of the salt fog, by the surface conductivity (μS) or by the amount of salt (NaCl) per square centimetre of the insulating surface (gm/cm^2). This latter is normally referred to as the Salt Deposit Density (S.D.D.). Information about these methods is given in Appendix B.

11 Conditions atmosphériques

11.1 Atmosphère normalisée de référence

L'atmosphère normalisée est :

Température $t_0 = 20^\circ\text{C}$

Pression $b_0 = 101,3 \text{ kPa}$ (1013 mbar)

Humidité absolue $h_0 = 11 \text{ g/m}^3$

NOTE — Une pression de 101,3 kPa correspond à une hauteur barométrique de 760 mm de mercure à 0°C . Si la hauteur barométrique est H mm de mercure, la pression atmosphérique en kilopascals est approximativement :

$$b = 0,1333H \text{ kPa}$$

La correction de la hauteur de la colonne de mercure en fonction de la température peut être considérée comme négligeable.

11.2 Facteurs de correction atmosphérique

La décharge disruptive d'une isolation externe dépend des conditions atmosphériques au voisinage. Habituellement, la tension de contournement d'un intervalle donné dans l'air est accrue par l'accroissement de la densité de l'air ou de l'humidité. Cependant, lorsque l'humidité relative excède 80 % environ, la tension de contournement devient irrégulière, spécialement lorsque le contournement se produit le long d'une surface isolante.

En appliquant les facteurs de correction, une tension de contournement mesurée dans des conditions d'essais données (température t , pression b , humidité h), peut être ramenée à la valeur qui aurait été obtenue sous les conditions atmosphériques de référence normalisée (t_0 , b_0 , h_0). Réciproquement, une tension d'essai spécifiée pour les conditions de référence peut être ramenée à la valeur équivalente dans les conditions régnant au cours de l'essai.

La tension de décharge disruptive est proportionnelle au facteur de correction atmosphérique K , qui résulte de la multiplication de deux facteurs de correction :

- le facteur de correction de densité de l'air k_1 (voir paragraphe 11.2.1)
- le facteur de correction de l'humidité k_2 (voir paragraphe 11.2.2).

$$K_i = k_1 k_2$$

Sauf spécification contraire du Comité d'Études concerne, la tension U à appliquer pendant un essai d'une isolation externe est calculée en multipliant la tension d'essai spécifiée U_0 par K_i .

$$U = U_0 K_i$$

De même, les tensions de décharge disruptive mesurées U sont ramenées à U_0 , correspondant aux conditions atmosphériques de référence normalisées, en divisant par K_i :

$$U_0 = U / K_i$$

11 Atmospheric conditions

11.1 Standard reference atmosphere

The standard reference atmosphere is:

temperature $t_0 = 20^\circ\text{C}$

pressure $b_0 = 101,3 \text{ kPa} (1013 \text{ mbar})$

absolute humidity $h_0 = 11 \text{ g/m}^3$

NOTE — A pressure of 101,3 kPa corresponds to the height of 760 mm in a mercury barometer at 0°C . If the barometer height is H mm of mercury, the atmospheric pressure in kilopascals is approximately:

$$b = 0,1333H \text{ kPa}$$

Correction for temperature with respect to the height of the mercury column is considered to be negligible.

11.2 Atmospheric correction factors

The disruptive discharge of external insulation depends upon the atmospheric conditions. Usually, the disruptive discharge voltage for a given path in air is increased by an increase in either air density or humidity. However, when the relative humidity exceeds about 80%, the disruptive discharge voltage becomes irregular, especially when the disruptive discharge occurs over an insulating surface.

By applying correction factors, a disruptive discharge voltage measured in given test conditions (temperature t , pressure b , humidity h) may be converted to the value which would have been obtained under the standard reference atmospheric conditions (t_0 , b_0 , h_0). Conversely, a test voltage specified for given reference conditions can be converted into the equivalent value under the test conditions.

The disruptive discharge voltage is proportional to the atmospheric correction factor K_i , that results from the product of two correction factors:

- the air density correction factor k_1 (see 11.2.1);
- the humidity correction factor k_2 (see 11.2.2).

$$K_i = k_1 k_2$$

If not otherwise specified by the relevant Technical Committee, the voltage U to be applied during a test on external insulation is determined by multiplying the specified test voltage U_0 by K_i :

$$U = U_0 K_i$$

Similarly, measured disruptive discharge voltages U are corrected to U_0 corresponding to standard reference atmosphere by dividing by K_i :

$$U_0 = U / K_i$$

Le rapport d'essai doit toujours mentionner les conditions atmosphériques réelles au cours de l'essai, et les corrections appliquées.

11.2.1 Facteur de correction de la densité de l'air k_1

Le facteur de correction de la densité de l'air dépend de la densité relative de l'air δ , et peut en général être exprimé par :

$$k_1 = (\delta)^m$$

où m est un exposant donné dans 11.2.3.

Si les températures t et t_0 sont exprimées en degrés Celsius et la pression atmosphérique b dans la même unité (kilopascals ou millibars) que b_0 , la densité relative de l'air est :

$$\delta = \frac{b}{b_0} \frac{273 + t_0}{273 + t}$$

11.2.2 Facteur de correction de l'humidité k_2

Le facteur de correction de l'humidité peut être exprimé par :

$$k_2 = k^w$$

où w est un exposant donné dans 11.2.3 et k est un paramètre fonction du type de la tension d'essai et qui, pour les besoins pratiques, peut être approximativement exprimé en fonction du rapport entre l'humidité absolue h et la densité relative δ , grâce aux courbes de la figure 3. Pour les valeurs h/δ supérieures à 15 g/m³, les corrections d'humidité sont encore à l'étude et les courbes de la figure 3 doivent être considérées comme des limites supérieures.

11.2.3 Exposants m et w

On peut tenir compte du fait que les facteurs de correction dépendent du type de prédécharges en considérant le paramètre :

$$g = \frac{U_B}{500 L \delta k}$$

où U_B est la tension d'amorçage 50 % (mesurée ou estimée) dans les conditions atmosphériques réelles, exprimée en kilovolts, L le plus court trajet de la décharge exprimé en mètres, avec les valeurs réelles de la densité de l'air δ et de k . Dans le cas d'un essai de tenue où une estimation de la tension 50 % de décharge disruptive n'est pas disponible, U_B peut être supposé égal à 1,1 fois la tension d'essai.

Les exposants m et w sont encore à l'étude. Des valeurs approchées sont données par la figure 4.

11.3 Essais sous pluie, essais sous pollution artificielle et essais avec des tensions combinées

Aucune correction d'humidité ne doit être appliquée lors d'essais sous pluie ou sous pollution artificielle. La question des corrections de densité est à l'étude. Pour les essais avec des tensions combinées, voir Article 26.

The test report shall always contain the actual atmospheric conditions during the test and the correction factors applied.

11.2.1 Air density correction factor k_1

The air density correction factor k_1 depends on the relative air density δ and can be generally expressed as:

$$k_1 = \delta^m$$

where m is an exponent given in 11.2.3.

When the temperatures t and t_0 are expressed in degrees Celsius and the atmospheric pressures b and b_0 are expressed in the same units (kilopascals or millibars), the relative air density is:

$$\delta = \frac{b}{b_0} \frac{273 + t_0}{273 + t}$$

11.2.2 Humidity correction factor k_2

The humidity correction factor may be expressed as:

$$k_2 = k^w$$

where w is an exponent given in 11.2.3 and k is a parameter that depends on the type of test voltage and that, for practical purposes, may be approximately obtained as a function of the ratio of absolute humidity, h , to the relative air density, δ , using the curves of figure 3. For values of h/δ in excess of 15 g/m^3 humidity corrections are still under consideration, and the curves in figure 3 may be regarded as upper limits.

11.2.3 Exponents m and w

As the correction factors depend on the type of pre-discharges, this fact can be taken into account by considering the parameter:

$$g = \frac{U_B}{500 L \delta k}$$

where U_B is the 50% disruptive-discharge voltage (measured or estimated) at the actual atmospheric conditions, in kilovolts, L the minimum discharge path in metres, with the actual values for the relative air density δ and for the parameter k . In the case of a withstand test where an estimate of the 50% disruptive discharge voltage is not available, U_B can be assumed to be 1,1 times the test voltage.

The exponents m and w are still under consideration. Approximate values are given in figure 4.

11.3 Wet tests, tests under artificial pollution and combined tests

No humidity correction shall be applied for wet tests or for tests with artificial pollution. The question of density correction during such tests is under consideration. For combined tests see Clause 26.5.

11.4 *Exigences contradictoires résultant d'essais de l'isolation interne et de l'isolation externes*

Les niveaux de tension de tenue étant spécifiés pour des conditions atmosphériques normalisées, il peut se produire que l'application des conditions atmosphériques (à cause de l'altitude du laboratoire ou de conditions climatiques extrêmes) conduise à un niveau de tension de tenue pour l'isolation interne très supérieur à celui de l'isolation externe associée. On doit alors faire en sorte d'accroître le niveau de tenue de l'isolation externe pour permettre l'application de la tension d'essai appropriée à l'isolation interne. Ceci comprend notamment l'immersion de l'isolation externe dans des liquides ou des gaz sous pression et doit être spécifié par le Comité d'Études concerné selon les exigences propres aux différents types d'appareils. Dans les cas où la tension d'essai de l'isolation externe est supérieure à celle de l'isolation interne, l'isolation externe n'est essayée correctement que si l'isolation interne est surdimensionnée. Dans le cas contraire, il convient d'essayer l'isolation interne à la valeur spécifiée et l'isolation externe à l'aide de maquettes, à moins que le Comité d'Études concerné ne prenne une position différente auquel cas il doit spécifier la procédure à utiliser.

11.5 *Mesure de l'humidité*

Il est préférable de déterminer l'humidité avec un mesureur donnant directement l'humidité absolue, avec une incertitude absolue inférieure à 1 g/m^3 . La mesure de l'humidité relative, associée à la mesure de la température, permet également de déterminer l'humidité absolue, pourvu que la précision sur cette détermination de l'hygrométrie absolue soit même que celle spécifiée ci-dessus.

NOTE — Cette mesure peut également être effectuée à l'aide d'un hygromètre à bulbes sec et humide, ventilés. L'humidité absolue, fonction de la lecture des thermomètres, est déterminée à partir de la figure 5, qui permet également de déterminer l'humidité relative. Il est important d'assurer un débit d'air suffisant pour atteindre des lectures stables et de lire soigneusement les thermomètres afin d'éviter des erreurs excessives dans la détermination de l'humidité.

11.4 *Conflicting requirements for testing internal and external insulation*

While withstand levels are specified under standard atmospheric conditions, cases will arise where the application of atmospheric corrections (due to laboratory altitude or to extreme climatic conditions) results in the withstand level for internal insulation appreciably in excess of that for the associated external insulation. In such cases measures to enhance the withstand level of the external insulation must be adopted to permit application of the correct test voltage to the internal insulation. These measures include immersion of the external insulation in liquids or compressed gases and should be specified by the relevant Technical Committee with reference to the requirements of particular classes of apparatus. In those cases where the test voltage of the external insulation is higher than that of the internal insulation, the external insulation can only be correctly tested when the internal insulation is especially designed with increased strength. If not, the internal insulation should be tested with the rated value and the external insulation be tested by means of dummies unless the relevant Technical Committee states otherwise, in which case it shall specify the test procedure to be used.

11.5 *Measurement of humidity*

The humidity shall be determined preferably with the meter measuring directly the absolute humidity with an absolute error not larger than 1 g/m^3 . Measurement of relative humidity associated with the temperature measurements also allows determination of the absolute humidity and can be used provided that the accuracy of the absolute humidity determination in this case is the same as required above.

NOTE — This measurement may also be made by means of a ventilated wet and dry bulb hygrometer. The absolute humidity as a function of the thermometer readings is determined from figure 5 which also permits determination of the relative humidity. It is important to provide adequate air flow in order to reach a steady state and to read the thermometers carefully in order to avoid excessive errors in the determination of the humidity.

Section 4 : Essais en tension continue

12 Définitions concernant les essais en tension continue

12.1 Valeur de la tension d'essai

La valeur de la tension d'essai est définie comme étant sa valeur moyenne arithmétique.

12.2 Ondulation

L'ondulation est l'écart périodique par rapport à la valeur moyenne arithmétique de la tension. L'amplitude de l'ondulation est définie comme la moitié de la différence entre les valeurs maximale et minimale. Le facteur d'ondulation est le rapport de l'amplitude de l'ondulation à la valeur moyenne arithmétique.

13 Tension d'essai

13.1 Prescriptions relatives à la tension d'essai

13.1.1 Forme de la tension

La tension d'essai, telle qu'appliquée à l'objet en essai, est en principe une tension continue ayant un facteur d'ondulation inférieur ou égal à 3 %, sauf spécification différente du Comité d'Études concerné. Noter que le facteur d'ondulation peut être affecté par la présence de l'objet en essai et par les conditions d'essai, en particulier pendant les essais sous pluie et les essais de pollution artificielle.

13.1.2 Tolérances

Pour les durées d'essais inférieures ou égales à 60 s, les valeurs mesurées de la tension d'essai doivent être maintenues égales à ± 1 % près à la tension spécifiée tout au long de l'essai. Pour les durées d'essais supérieures à 60 s, les valeurs mesurées de la tension d'essai doivent être maintenues égales à ± 3 % près à la tension spécifiée tout au long de l'essai.

NOTE — Il est souligné que la tolérance constitue la différence permise entre la valeur spécifiée et la valeur mesurée. Il convient de distinguer cette différence de l'erreur de mesure qui est la différence entre la valeur mesurée et la valeur réelle.

13.2 Production de la tension d'essai

La tension d'essai est généralement obtenue à l'aide de redresseurs, bien que des générateurs électrostatiques soient parfois utilisés. Les prescriptions relatives à la source de tension d'essai dépendent beaucoup du genre d'appareil à essayer et des conditions d'essai. Ces prescriptions dépendent principalement de la valeur et de la nature du courant d'essai que la source doit fournir et dont les principales composantes sont indiquées en 13.4.

Il convient que les caractéristiques de la source soient telles qu'elles permettent de charger la capacité de l'objet en essai en un temps raisonnablement court. Cependant en cas d'objets ayant une forte capacité, des temps de charge de plusieurs minutes doivent parfois être acceptés. Il convient que la source, y compris la capacité de front soit capable de fournir les courants de fuite et d'absorption ainsi que tous courants

Section 4: Tests with Direct Voltage

12 Definitions for direct voltage tests

12.1 Value of the test voltage

The value of the test voltage is defined as its arithmetic mean value.

12.2 Ripple

Ripple is the periodic deviation from the arithmetic mean value of the voltage. The amplitude of the ripple is defined as half the difference between the maximum and minimum values. The ripple factor is the ratio of the ripple amplitude to the arithmetic mean value.

13 Test voltage

13.1 Requirements for the test voltage

13.1.1 Voltage shape

The test voltage, as applied to the test object, should be a direct voltage with not more than 3% ripple factor, unless otherwise specified by the relevant Technical Committee. Note that the ripple factor may be affected by the presence of the test object and by the test conditions, especially in wet tests and in tests under artificial pollution.

13.1.2 Tolerances

For test durations not exceeding 60 s, the measured values of the test voltage shall be maintained within $\pm 1\%$ of the specified level throughout the test. For test durations exceeding 60 s, the measured value of the test voltage shall be maintained within $\pm 3\%$ of the specified level throughout the test.

NOTE — It is emphasized that the tolerance constitutes the permitted difference between the specified value and that actually measured. This difference should be distinguished from the measuring error which is the difference between the measured value and the true value.

13.2 Generation of the test voltage

The test voltage is generally obtained by means of rectifiers, though sometimes electrostatic generators are employed. The requirements to be met by the test voltage source depend considerably upon the type of apparatus which is to be tested and on the test conditions. These requirements are determined mainly by the value and nature of the test current to be supplied, the important constituents of which are indicated in 13.4.

The source characteristics should be such as to permit charging of the capacitance of the test object in a reasonably short time. In the case of objects having high capacitance, charging times of several minutes must sometimes be accepted. The source, including its storage capacitance, should also be adequate to supply the leakage and absorption currents and any internal and external non-disruptive discharge currents

résultant de décharge non disruptive sans que la tension d'essai ne baisse de plus de 10 %. Dans les essais sur isolation interne, le courant dans l'objet en essai est habituellement faible, mais lorsqu'on essaye des isolateurs sous pluie, des courants de fuite de l'ordre de quelques dizaines de milliampères, ou des impulsions dues aux prédécharges de l'ordre de 10^{-2} C peuvent être observés occasionnellement.

Les paramètres de source pour les essais sous pollution en courant continu sont à l'étude.

13.3 *Mesurage de la tension d'essai*

13.3.1 *Mesurage avec des dispositifs approuvés par la Publication 60-3 de la CEI*

En général, il convient que le mesurage de la valeur moyenne arithmétique, de la valeur maximale, du facteur d'ondulation et de toute chute de tension transitoire de la tension d'essai soit fait au moyen de dispositifs ayant satisfait aux essais d'approbation indiqués dans la Publication 60-3 de la CEI : «Techniques des essais à haute tension — Dispositifs de mesurage». L'attention est attirée sur les prescriptions relatives aux réponses caractéristiques des dispositifs utilisés pour mesurer l'ondulation, les grandeurs transitoires et la stabilité de la tension.

13.3.2 *Étalonnage d'un dispositif de mesure non approuvé au moyen de dispositif de mesure approuvé*

La procédure consiste habituellement à établir une relation entre l'indication donnée par un dispositif lié à la tension d'essai et la mesure de la même tension effectué selon 13.3.1 ou à l'aide d'éclateur à sphères conformément à la Publication 52 de la CEI (1960) «Recommandations pour la mesure des tensions au moyen d'éclateurs à sphères (une sphère à la terre)», ou d'un éclateur pointe/pointe conformément en 13.3.3.

Cette relation peut dépendre de la présence de l'objet en essai et de celle de l'éclateur à sphères ou de l'éclateur pointe/pointe, de l'aspersion dans le cas d'essais sous pluie, etc. Il est alors important que ces conditions soient les mêmes pendant l'étalonnage et pendant l'essai lui-même, excepté que, durant l'essai, l'écartement entre les sphères ou les pointes doit être augmenté suffisamment pour éviter un amorçage. La relation entre la tension d'alimentation et la tension de sortie peut être insuffisamment stable pour les besoins de la mesure.

L'attention est attirée sur les précautions nécessaires quand on utilise un éclateur à sphères en tensions continues, à cause des amorçages à des tensions plus basses résultant essentiellement de la présence de particules fibreuses microscopiques. On doit effectuer quelques applications de tension et la valeur de tension la plus haute est prise pour la vraie mesure.

NOTE 1 — Le problème causé par les particules fibreuses peut être résolu en ménageant un courant d'air de vitesse minimale 3 m/s dans l'intervalle entre sphères.

NOTE 2 — Il convient de rappeler qu'en présence d'ondulations, les éclateurs à sphères ne mesurent pas la valeur moyenne arithmétique de la tension.

L'étalonnage est fait de préférence à 100 % ou à peu près de la tension d'essai, mais pour les essais d'objets comprenant des isolations non autorégénératrices une extrapolation peut être faite à partir de valeurs non inférieures à 50 % de cette tension. L'extrapolation peut ne pas être satisfaisante si le courant dans le circuit d'essai varie de façon non linéaire avec la tension appliquée.

without voltage drops exceeding 10%. In tests on internal insulation, these currents are usually small, but when testing wet insulators, leakage currents of the order of some tens of milliamperes or pre-discharge pulses of the order of 10^{-2} C may occasionally be encountered.

Source parameters for D.C. pollution tests are under investigation.

13.3 *Measurement of the test voltage*

13.3.1 *Measurement with devices approved under IEC Publication 60-3: High Voltage Test Techniques — Measuring Devices*

The measurement of the arithmetic mean value, the maximum value, the ripple factor and any transient drop in the test voltage should, in general, be made with devices which have passed the approval procedure referred to in IEC Publication 60-3. Attention is drawn to the requirements on response characteristics of devices used for measuring ripple, transients or voltage stability.

13.3.2 *Calibration of a non-approved measuring device with an approved measuring device*

The procedure usually consists of establishing a relationship between the display of some device related to the test voltage and a measurement of the same voltage performed in accordance with 13.3.1, with a sphere-gap, used in accordance with IEC Publication 52, or with a rod/rod gap, used in accordance with 13.3.3.

This relationship may be dependent on the presence of the test object, the sphere-gap or rod/rod gap, on the precipitation in wet tests, etc. Hence, it is important that these conditions are the same during the calibration and the actual test, except that, during the test, the sphere-gap or rod/rod gap shall be opened sufficiently to prevent sparkover. The relationship between the supply voltage and the output voltage may be insufficiently stable for measuring purposes.

Attention is drawn to the precautions necessary when using a sphere-gap under direct voltages, due to the occurrence of flashovers at lower voltage values predominantly resulting from the presence of microscopic fibrous particles. A series of voltage applications shall be made and the highest voltage value is taken as the true measure.

NOTE 1 — The problem of fibrous particles can be overcome by providing an air flow of not less than 3 m/s through the gap.

NOTE 2 — In the presence of ripple, sphere-gaps do not measure the arithmetic mean value of the voltage.

The calibration is preferably made at or near 100% of the test voltage, but for tests on objects with non-self-restoring insulation, extrapolation may be made from a value not lower than 50% of this voltage. Extrapolation may be unsatisfactory if the current in the test circuit varies non-linearly with the applied voltage.

13.3.3 *Utilisation de l'éclateur pointe/pointe comme dispositif de mesure approuvé*

Un éclateur pointe/pointe de dimensions conformes à celles données en Annexe C et utilisé selon cette Annexe est un dispositif approuvé pour les tensions continues.

13.4 *Mesure du courant d'essai*

Lorsque les mesures du courant traversant l'objet en essai sont effectuées, plusieurs composantes peuvent être distinguées. Celles-ci diffèrent entre elles de plusieurs ordres de grandeur pour le même objet en essai et la même tension d'essai. Ce sont :

- le courant capacitif dû à l'application initiale de la tension d'essai et à toute ondulation ou à toutes autres fluctuations superposées;
- le courant d'absorption diélectrique, dû au lent déplacement de charges au sein de l'isolation, durant de quelques secondes à plusieurs heures. Ce phénomène est en partie réversible, les courants de polarité opposée pouvant être observés lorsque l'objet en essai est déchargé par court-circuitage;
- le courant de fuite permanent qui est la valeur finale du courant continu obtenue à tension appliquée constante lorsque les composantes précédentes ont décru jusqu'à zéro;
- les courants de décharges partielles.

La mesure des trois premières composantes nécessite l'emploi d'appareils couvrant une grande gamme d'amplitude de courant. Il est important de s'assurer que l'instrument ou le mesurage de l'une quelconque des composantes du courant n'est pas affecté par les autres composantes. Il est parfois possible de déduire des informations concernant le comportement de l'isolation pendant des essais non destructifs par l'observation des variations du courant dans le temps.

L'amplitude relative et l'importance à attribuer à chaque composante du courant dépend du type et de l'état de l'objet en essai, du but recherché au cours de l'essai et de la durée de l'essai. C'est pourquoi les prescriptions relatives aux mesures sont en principe spécifiées par le Comité d'Études concerné, en particulier quand on désire distinguer une composante particulière.

Les mesures des impulsions de courant des décharges partielles sont effectuées avec des appareils spéciaux qui sont traités dans la Publication 270 de la CEI (1981) : «Mesurage des décharges partielles».

NOTE — Il convient de faire attention à la valeur possible du courant qui traverserait l'appareil de mesurage de courant en cas de décharge disruptive et pourrait le détruire s'il n'est pas convenablement protégé.

14 **Modalités d'essais**

14.1 *Essais de tension de tenue*

La tension doit être appliquée à l'objet en essai à partir d'une valeur suffisamment basse pour éviter tout effet de surtension dû aux phénomènes transitoires d'enclenchement. Il convient qu'elle croisse assez lentement pour permettre une lecture des instruments, mais sans qu'il en résulte pour autant une prolongation inutile de la contrainte sur l'objet en essai au voisinage de la tension d'essai U . Ces exigences sont généralement satisfaites lorsque la vitesse de montée en tension au dessus de 75 % de U est d'environ

13.3.3 *The rod/rod gap as an approved measuring device*

A rod/rod gap with dimensions as given in Appendix C and used in accordance with this Appendix is an approved measuring device for measuring direct voltages.

13.4 *Measurement of the test current*

When measurements of current through the test object are made, a number of separate components may be recognized. These differ from each other by several orders of magnitude for the same test object and test voltage. They are:

- the capacitance current, due to the initial application of the test voltage and to any ripple or other fluctuations imposed on it;
- the dielectric absorption current, due to slow charge displacements within the insulation and persisting for periods of a few seconds up to several hours. This process is partially reversible, currents of the opposite polarity being observed when the test object is discharged and short-circuited;
- the continuous leakage current, which is the final steady direct current attained at constant applied voltage after the above components have decayed to zero;
- partial discharge currents.

Measurement of the first three components necessitates the use of instruments covering a wide range of current magnitudes. It is important to ensure that the instrument, or the measurement of any one component of the current, is not adversely affected by the other components. Information concerning the condition of the insulation may sometimes be obtained by observing current variations with respect to time, during non-destructive tests.

The relative magnitude and the importance of each component of current depend on the type and the condition of the test object, the purpose for which the test is being made and the duration of the test. Accordingly, the measurement procedures should be specified by the relevant Technical Committee, especially when it is required to distinguish a particular component.

Measurements of partial discharge pulse currents are made with special instruments which are dealt with in IEC Publication 270 (1981): Partial Discharge Measurements.

NOTE — Attention should be paid to the possible value of current flowing in the case of a disruptive discharge, that could destroy a current meter if not adequately protected.

14 **Test procedures**

14.1 *Withstand voltage tests*

The voltage shall be applied to the test object starting at a value sufficiently low to prevent any effect of overvoltage due to switching transients. It should be raised sufficiently slowly to permit reading of the instruments, but not so slowly as to cause unnecessary prolongation of stressing of the test object near to the test voltage U . These requirements are in general met if the rate of rise is about 2% of U per second

2 % de U par seconde. Cette tension doit être maintenue pendant la durée spécifiée puis diminuée en déchargeant la capacité du circuit, y compris celle de l'objet en essai, à travers une résistance appropriée.

La durée d'essai est spécifiée par le Comité d'Études concerné en considérant que la durée nécessaire pour atteindre l'état final de répartition de tension dépend des résistances et des capacités des composants de l'objet en essai. Sauf spécification contraire du Comité d'Études concerné, la durée de l'essai de tenue doit être 60 s.

Il doit que la polarité de la tension ou l'ordre dans lequel les tensions de chaque polarité sont appliquées, ainsi que toute variation exigée par rapport aux spécifications ci-dessus, soient spécifiées par le Comité d'Études concerné.

Les exigences de l'essai sont satisfaites si aucune décharge disruptive ne se produit sur l'objet en essai.

14.2 *Essais de tension de décharge disruptive*

La tension doit être appliquée et augmentée de façon continue jusqu'à ce qu'une décharge disruptive se produise sur l'objet en essai. On doit enregistrer la valeur de la tension atteinte à l'instant de la décharge disruptive.

Le Comité d'Études concerné doit spécifier la vitesse d'accroissement de la tension, le nombre d'applications de tension et la procédure d'évaluation des résultats d'essai (voir Annexe A).

14.3 *Essais de tension de décharge disruptive assurée*

On doit appliquer la tension, l'augmenter de façon continue jusqu'à ce qu'une décharge disruptive se produise sur l'objet en essai, et enregistrer la valeur de la tension atteinte à l'instant de la décharge disruptive.

Les exigences de l'essai sont généralement satisfaites si cette tension n'excède pas la tension de décharge disruptive assurée pendant un nombre spécifié d'applications de tension.

Le Comité d'Études concerné doit spécifier le nombre d'applications et la vitesse d'accroissement de la tension.

when the applied voltage is above 75% of U . It shall be maintained for the specified time and then reduced by discharging the circuit capacitance, including that of the test object, through a suitable resistor.

The test duration shall be specified by the relevant Technical Committee taking into consideration that the time to reach the steady-state voltage distribution depends on the resistances and capacitances of the test object components. When not otherwise specified by the relevant Technical Committee, the duration of a withstand test shall be 60 s.

The polarity of the voltage or the order in which voltages of each polarity are applied, and any required deviation from the above specifications, shall be specified by the relevant Technical Committee.

The requirements of the test are satisfied if no disruptive discharge occurs on the test object.

14.2 *Disruptive discharge voltage tests*

The voltage shall be applied and raised continuously until a disruptive discharge occurs on the test object. The value of the voltage reached at the instant of the disruptive discharge shall be recorded.

The relevant Technical Committee shall specify the voltage rate of rise, the number of voltage applications and the procedure for evaluating the test results (see Appendix A).

14.3 *Assured disruptive discharge voltage tests*

The voltage shall be applied and raised continuously until a disruptive discharge occurs on the test object. The value of the test voltage reached at the instant of the disruptive discharge shall be recorded.

The requirements of the test are generally satisfied if this voltage does not exceed the assured disruptive discharge voltage on a specified number of voltage applications.

The relevant Technical Committee shall specify the number of voltage applications and the voltage rate of rise.

Section 5 : Essais en tension alternative

15 Définitions concernant les essais en tension alternative

15.1 Définitions concernant les essais en tension alternative

15.1.1 Valeur de la tension d'essai

La valeur de la tension d'essai est définie par sa valeur de crête divisée par $\sqrt{2}$.

NOTE — Le Comité d'Études concerné peut demander le mesurage de la valeur efficace de la tension d'essai au lieu de la valeur de crête dans les cas où la valeur efficace peut avoir une importance, par exemple dans les cas où des effets thermiques sont impliqués.

15.2 Valeur de crête

La valeur de crête d'une tension alternative est la plus grande valeur instantanée. On ne doit pas néanmoins tenir compte des petites oscillations à haute fréquence apparaissant par exemple s'il y a des décharges non disruptives dans le circuit.

15.3 Valeur efficace

La valeur efficace d'une tension alternative est la racine carrée de la valeur moyenne des carrés des valeurs que prend la tension pendant une période entière.

16 Tension d'essai

16.1 Prescriptions relatives à la tension d'essai

16.1.1 Forme de la tension

La tension d'essai doit être une tension alternative de fréquence généralement comprise entre 45 et 65 Hz, généralement désignée comme tension d'essai à fréquence industrielle. Des essais spéciaux peuvent demander des fréquences très inférieures ou très supérieures à cette gamme, ainsi que spécifié par le Comité d'Études concerné.

La forme de la tension doit être voisine de celle d'une sinusoïde avec ses deux alternances sensiblement identiques. Les résultats d'un essai à haute tension sont réputés non affectés lorsque la tension s'écarte légèrement de la forme sinusoïdale si le rapport de la valeur de crête à la valeur efficace est égal à $\sqrt{2}$ à $\pm 5\%$.

Il faut accepter des écarts plus grands pour quelques circuits d'essais usuels. Noter que la présence de l'objet en essai, surtout s'il comporte des caractéristiques d'impédance non linéaire, peut affecter profondément l'écart par rapport à la forme sinusoïdale.

NOTE — On peut généralement estimer que les prescriptions exprimées ci-dessus relatives à l'écart à la forme sinusoïdale sont respectées si la valeur efficace des harmoniques n'excède pas 5 % de la valeur efficace de la fondamentale.

Section 5: Tests with Alternating Voltage

15 Definitions for alternating voltage tests

15.1 Definitions for alternating voltage tests

15.1.1 Value of the test voltage

The value of the test voltage is defined as its peak value divided by $\sqrt{2}$.

NOTE — The relevant Technical Committee may require a measurement of the r.m.s. value of the test voltage instead of the peak value for cases where the r.m.s. value may be of importance, for instance, when thermal effects are involved.

15.2 Peak value

The peak value of an alternating voltage is the maximum value. Small high-frequency oscillations, arising for instance from non-disruptive discharges shall, however, be disregarded.

15.3 R.M.S. value

The r.m.s. value of an alternating voltage is the square root of the mean value of the square of the voltage values during a complete cycle.

16 Test Voltage

16.1 Requirements for the test voltage

16.1.1 Voltage waveshape

The test voltage shall be an alternating voltage generally having a frequency in the range 45 to 65 Hz, normally referred to as power-frequency test voltage. Special tests may be required at frequencies considerably below or above this range, as specified by the relevant Technical Committee.

The voltage waveshape shall approximate a sinusoid with both half-cycles closely alike. The results of a high voltage test are thought to be unaffected by small deviations from a sinusoid if the ratio of peak to r.m.s. values equals $\sqrt{2}$ within $\pm 5\%$.

For some test circuits in common use greater deviations have to be accepted. Note that the test object, especially if it has non-linear impedance characteristics, may considerably affect the deviation from a sinusoid.

NOTE — It can generally be assumed that the above requirements on deviations from a sinusoid will be met if the r.m.s. value of the harmonics does not exceed 5% of the r.m.s. value of the fundamental.

16.1.2 Tolérances

Sauf spécification différence du Comité d'Études concerné, les valeurs mesurées de la tension d'essai doivent être maintenues égales à ± 1 % près à la tension spécifiée tout au long de l'essai. Pour les durées d'essai supérieures à 60 s, les valeurs mesurées de la tension d'essai doivent être maintenues égales à ± 3 % près à la tension spécifiée tout au long de l'essai.

NOTE — Il est souligné que la tolérance constitue la différence permise entre la valeur spécifiée et la valeur mesurée. Il convient de distinguer cette différence de l'erreur de mesure qu'est la différence entre la valeur mesurée et la valeur réelle.

16.2 Production de la tension d'essai

16.2.1 Prescriptions générales

La tension d'essai est généralement produite par un transformateur élévateur. En variante, elle peut être fournie par un circuit résonnant série.

Il doit que la tension du circuit d'essai soit suffisamment stable pour ne pas être affectée en pratique par les variations des courants de fuite. En principe, il doit que les décharges non disruptives de l'objet en essai ne réduisent pas la tension d'essai à un degré tel et pendant une durée telle que la tension disruptive mesurée de l'objet en essai en soit affectée de façon significative.

En cas de décharges non-disruptives et sauf spécification contraire du Comité d'Études concerné, un essai de tenue est considéré comme satisfaisant lorsqu'il peut être montré que la valeur de crête de la tension d'essai ne diffère pas de plus de 5 % dans des périodes successives et que la chute de tension instantanée pendant des décharges non disruptives n'est pas supérieure à 20 % de la valeur de crête de la tension. Les caractéristiques du circuit d'essai nécessaires à la satisfaction des prescriptions ci-dessus dépendent du type d'essai (à sec, sous pluie, etc.) du niveau de la tension d'essai et du comportement de l'objet en essai.

NOTE — On attire l'attention sur la possibilité que de telles décharges non disruptives provoquent de grandes surtensions aux bornes de l'objet en essai. Ce phénomène peut entraîner une défaillance de l'objet en essai ou du transformateur d'essai. On peut y remédier en changeant la fréquence propre de la source de tension ou en introduisant un amortissement quelconque dans le circuit.

16.2.2 Prescriptions concernant le circuit d'essai avec transformateur

Pour que la tension d'essai ne soit pratiquement pas modifiée par la variation des courants de fuite, il convient que la valeur efficace du courant de court-circuit fourni par le transformateur lorsque l'objet en essai est court-circuité à la tension d'essai soit assez grande comparée avec les courants de fuite à la fréquence d'alimentation et de toute façon en ce qui concerne les critères indicatifs suivants :

- pour des essais à sec de petits échantillons d'isolation solide, de liquides isolants ou de combinaison des deux, un courant de court-circuit de l'ordre de 0,1 A convient;
- pour des essais sur des isolations externes autorégénératrices (isolateurs, sectionneurs, etc.) des courants de court-circuit d'au moins 0,1 A pour des essais à sec et 0,5 A pour des essais sous pluie conviennent; cependant, pour essayer sous pluie des objets de grandes dimensions où il peut y avoir de forts courants de fuite, un courant de court-circuit allant jusqu'à 1 A peut être nécessaire.

NOTE — Lorsque le circuit d'essai est alimenté par un générateur tournant, il convient de considérer le courant de court-circuit transitoire (voir la Publication 34.4 de la CEI).

16.1.2 Tolerances

If not otherwise specified by the relevant Technical Committee the measured values of the test voltage shall be maintained within $\pm 1\%$ of the specified level throughout the test. For test durations exceeding 60 s the measured value of the test voltage shall be maintained within $\pm 3\%$ of the specified level throughout the test.

NOTE — It is emphasized that the tolerance constitutes the permitted difference between the specified value and that actually measured. This difference should be distinguished from the measuring error which is the difference between the measured value and the true value.

16.2 Generation of the test voltage

16.2.1 General requirements

The test voltage is generally supplied from a step-up transformer. Alternatively, it may be generated by means of a series-resonant circuit.

The voltage in the test circuit shall be stable enough to be practically unaffected by varying leakage currents. Non-disruptive discharges in the test object shall not reduce the test voltage to such an extent and for such a time that the measured disruptive discharge voltage of the test object is significantly affected.

In the case of non-disruptive discharges, unless otherwise specified by the relevant Technical Committee, a withstand test is considered satisfactory when it can be shown that the peak value of the test voltage does not differ by more than 5% in successive periods and that the instantaneous voltage drop during a non-disruptive discharge does not exceed 20% of the peak voltage. The characteristics of the test circuit which are necessary to meet the above requirements depend on the type of test (dry, wet, etc.), the test voltage level and the test object behaviour.

NOTE — Attention is drawn to the possibility that such non-disruptive discharges may cause large overswings of voltage between the terminals of the test object. This phenomenon may cause failure of the test object or of the testing transformer. A cure can usually be effected by changing the natural frequency of the voltage source or by introducing some attenuation into the system.

16.2.2 Requirements for the transformer test circuit

In order to have the test voltage practically unaffected by varying leakage currents the short-circuit current, delivered by the transformer when the test object is short-circuited at the test voltage, should be large enough in comparison with the leakage currents at the supply frequency and in any case in respect of the following guiding criteria:

- for dry tests on small samples of solid insulation, insulating liquids or combinations of the two, a short-circuit current of the order of 0,1 A (r.m.s.) is suitable;
- for tests on external self-restoring insulation (insulators, disconnecting switch, etc.) a short-circuit current not less than 0,1 A (r.m.s.) for dry tests and 0,5 A (r.m.s.) for wet tests is suitable; however, for wet tests on objects having large dimensions that may lead to high leakage currents, a short-circuit current up to 1 A could be necessary.

NOTE — When the test circuit is supplied by a rotating generator, the transient short-circuit current (see IEC Publication 34-4) should be considered.

Il convient que la capacité totale de l'objet en essai et de toute capacité additionnelle soit suffisante pour assurer que la tension disruptive mesurée n'est pas modifiée par des décharges non disruptives dans l'objet en essai. Une capacité de l'ordre de 0,5 à 1 nF est généralement suffisante.

NOTE — Dans le cas où la résistance externe de protection du transformateur ne dépasse pas 10 k Ω , la capacité effective vue de l'extérieur du transformateur peut être considérée comme étant en parallèle avec l'objet en essai.

Pour les essais sous pollution artificielle, des valeurs plus grandes du courant de court-circuit, jusqu'à 15 A ou plus, sont nécessaires (voir la Publication 507 de la CEI); en principe, la station d'essais remplit aussi les conditions suivantes :

- le rapport de la résistance à la réactance (R/X) est supérieur ou égal à 0,1;
- le rapport du courant capacitif au courant de court-circuit est compris entre 0,001 et 0,1.

Il est possible de vérifier la stabilité de la tension par l'enregistrement direct de la tension appliquée à l'objet en essai au moyen d'un système convenable de mesurage de la haute tension.

16.2.3 Circuit résonnant série

Un circuit résonnant série est essentiellement constitué d'une inductance en série avec une charge ou un objet en essai capacitif et une source d'énergie à moyenne tension. Réciproquement, il peut comprendre une capacité en série dans le cas d'un objet en essai inductif. En faisant varier les paramètres du circuit ou la fréquence d'alimentation, le circuit peut être accordé à la résonance de sorte qu'une tension de plus grande amplitude et de forme très voisine de celle d'une sinusoïde est appliquée à l'objet en essai.

La stabilité des conditions de résonance et de la tension d'essai dépendent de la constance de la fréquence d'alimentation et des caractéristiques du circuit d'essai.

Lorsqu'une décharge disruptive se produit, la source donne un courant relativement bas qui limite les dégâts dans le diélectrique de l'objet en essai.

Le circuit résonnant série est particulièrement utile pour essayer des objets tels que des câbles, des condensateurs ou des systèmes à isolation gazeuse dans lesquels les courants de fuite le long de l'isolation externe sont très petits en comparaison des courants capacitifs de l'objet en essai ou dans lesquels l'énergie nécessaire à la formation d'une décharge disruptive est très faible. Un circuit résonant -série est également utile pour les essais de réactances.

Ce circuit peut ne pas convenir pour les essais sous pluie ou sous pollution des isolations externes, sauf si les prescriptions du paragraphe 16.2.1 sont satisfaites.

16.3 Mesure de la tension d'essai

16.3.1 Mesure au moyen de dispositifs approuvés selon la Publication 60-3 de la CEI

Il convient que la mesure de la valeur de crête, de la valeur efficace, de l'écart par rapport à une sinusoïde et des chutes de tension transitoires soit faite au moyen de dispositifs qui ont satisfait aux procédures d'approbation indiquées dans la Publication 60-3 de la CEI.

On attire l'attention sur les prescriptions de caractéristiques de réponse des dispositifs utilisés pour mesurer les chutes de tension transitoires.

The total capacitance of the test object and of any additional capacitor should be sufficient to ensure that the measured discharge voltage is unaffected by non-disruptive partial discharges or pre-discharges in the test object. A capacitance in the range from 0,5 to 1,0 nF is generally sufficient.

NOTE — If any protective resistor external to the test transformer does not exceed 10 k Ω , the effective terminal capacitance of the transformer may be regarded as being in parallel with the test object.

For tests under artificial pollution, higher values of the short-circuit current, up to 15 A or more, are necessary (see IEC Publication 507); the testing plant should also comply with the two following conditions:

- resistance/reactance ratio (R/X) equal to or higher than 0,1;
- capacitive current/short-circuit current ratio not exceeding the interval 0,001 to 0,1.

The voltage stability could be verified by the direct recording of the voltage applied to the test object, by means of a suitable high voltage measuring system.

16.2.3 *The series-resonant circuit*

The series-resonant circuit consists essentially of an inductor in series with a capacitive, test object or load and connected to a medium voltage power source. Alternatively it may consist of a capacitor in series with an inductive test object. By varying the circuit parameters or the supply frequency, the circuit can be tuned to resonance, when a voltage considerably greater than that of the source and of substantially sinusoidal shape will be applied to the test object.

The stability of the resonance conditions and of the test voltage depends on the constancy of the supply frequency and of the test circuit characteristics.

When a discharge occurs, the source gives a relatively low current which limits the damage to the dielectric of the test object.

The series-resonant circuit is especially useful when testing objects such as cables, capacitors or gas-insulated systems in which the leakage currents on the external insulation are very small in comparison with the capacitive currents through the test object or the energy to form a disruptive discharge is very small. A series-resonant circuit is also useful for testing reactors.

The circuit may be unsuitable for external insulation under wet or polluted conditions, unless the requirements of 16.2.1 are satisfied.

16.3 *Measurement of the test voltage*

16.3.1 *Measurement with devices approved under IEC Publication 60-3*

The measurement of the peak value, the r.m.s. value, the deviation from a sinusoid and the transient drops should in general be made with devices which have passed the approval procedures referred to in IEC Publication 60-3.

Attention is drawn to the requirements on response characteristics of the devices used for measuring transient voltage drops.

16.3.2 *Étalonnage d'un dispositif de mesure non approuvé au moyen d'un dispositif de mesure approuvé*

La procédure consiste habituellement à établir une relation entre l'indication d'un dispositif lié à la tension d'essai et une mesure de la même tension effectué selon 16.3.1 ou avec un éclateur à sphères utilisé selon la Publication 52 de la CEI.

La relation peut dépendre de la présence de l'objet en essai et de l'éclateur à sphères, de l'aspersion dans le cas d'essais sous pluie, etc. Il est alors important que ces conditions soient les mêmes pendant l'étalonnage et pendant l'essai lui-même excepté que, durant l'essai, l'écartement entre les sphères peut être augmenté suffisamment pour éviter un amorçage.

La relation entre la tension d'alimentation et la tension de sortie peut ne pas être suffisamment constante pour les besoins du mesurage.

L'étalonnage est fait de préférence à 100 % ou à peu près de la tension d'essai, mais pour les essais d'objets comprenant des isolations non-autorégénératrices une extrapolation peut être faite à partir de valeurs non inférieures à 50 % de cette tension. L'extrapolation peut ne pas être satisfaisante si le courant dans l'objet en essai varie de façon non linéaire avec la tension appliquée, ou s'il se produit un changement quelconque dans la forme ou la fréquence de la tension entre les niveaux de tension d'étalonnage et d'essai.

17 **Modalités d'essais**

17.1 *Essais de tension de tenue*

On doit appliquer la tension à l'objet en essai à partir d'une valeur suffisamment basse pour éviter tout effet de surtension dû aux phénomènes transitoires d'enclenchement. En principe, elle croît assez lentement pour permettre une lecture des instruments de la mesure, mais sans qu'il en résulte pour autant une prolongation inutile de la contrainte sur l'objet en essai au voisinage de la tension d'essai U . Ces spécifications sont généralement satisfaites lorsque la vitesse de montée en tension au-dessus de 75 % U est d'environ 2 % U par seconde. Elle doit être maintenue pendant la durée spécifiée puis diminuée rapidement, mais pas coupée brutalement car ceci peut produire des surtensions transitoires qui peuvent causer des dégâts ou des résultats d'essai erratiques.

La durée d'essai est spécifiée par le Comité d'Études concerné et ne dépend pas de la fréquence dans l'intervalle 45 à 65 Hz. Si elle n'est pas précisée par le Comité d'Études concerné, la durée d'un essai de tenue doit être de 60 s.

Les exigences de l'essai sont satisfaites si aucune décharge disruptive ne se produit sur l'objet en essai.

17.2 *Essais de tension de décharge disruptive*

La tension est appliquée et augmentée de façon continue jusqu'à ce qu'une décharge disruptive se produise sur l'objet en essai. On doit enregistrer la valeur de la tension atteinte à l'instant de la décharge disruptive.

Le Comité d'Études concerné spécifie la vitesse d'accroissement de la tension, le nombre d'applications de tension et la procédure d'évaluation des résultats d'essai (voir Annexe A).

16.3.2 Calibration of a non-approved measuring device with an approved measuring device

The procedure usually consists of establishing a relationship between the display of some device related to the test voltage and a measurement of the same voltage performed in accordance with 16.3.1 or with a sphere-gap used in accordance with IEC Publication 52.

This relationship may be dependent on the presence of the test object and the sphere-gap, the precipitation in wet tests, etc. Hence, it is important that these conditions are the same during the calibration and the actual test, except that, during the test, the sphere-gap may be opened sufficiently to prevent sparkover.

The relationship between the supply voltage and the output voltage may not be sufficiently stable for measuring purposes.

The calibration is preferably made at or near 100% of the test voltage, but for tests on objects with non-self-restoring insulation, extrapolation may be made from a value not lower than 50% of this voltage. Extrapolation may be unsatisfactory if the current in the test circuit varies non-linearly with the applied voltage, or if any changes occur in the voltage shape or frequency between the calibration and the test voltage levels.

17 Test procedures

17.1 Withstand voltage tests

The voltage shall be applied to the test object starting at a value sufficiently low to prevent any effect of overvoltages due to switching transients. It should be raised sufficiently slowly to permit reading of the measuring instrument but not so slowly as to cause unnecessary prolongation of the stressing of the test object near to the test voltage U . These requirements are in general met if the rate of rise is about 2% of U per second, when the applied voltage is above 75% of U . It shall be maintained for the specified time and then rapidly decreased, but not suddenly interrupted as this may generate switching transients which could cause damage or erratic test results.

The test duration shall be specified by the relevant Technical Committee and shall be independent of the frequency in the range from 45 to 65 Hz. If not specified by the relevant Technical Committee the duration of a withstand test shall be 60 s.

The requirements of the test are satisfied if no disruptive discharge occurs on the test object.

17.2 Disruptive discharge voltage tests

The voltage shall be applied and raised continuously until a disruptive discharge occurs on the test object. The value of the test voltage reached at the instant of the disruptive discharge shall be recorded.

The relevant Technical Committee shall specify the rate of rise of the voltage, the number of voltage applications and the procedure for evaluating the test results (see Appendix A).

17.3 *Essais de tension de décharge disruptive assurée*

On doit appliquer la tension et de l'augmenter de façon continue jusqu'à ce qu'une décharge disruptive se produise sur l'objet en essai, et d'enregistrer la valeur de la tension atteinte à l'instant de la décharge disruptive doit être enregistrée.

Les exigences de l'essai sont généralement satisfaites si cette tension n'excède par la tension de décharge disruptive assurée à chacune des applications de tension dont le nombre est spécifié.

Le Comité d'Études concerné spécifie le nombre d'applications et la vitesse d'accroissement de la tension.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60060-1:1989

Withdr2Wm

17.3 *Assured disruptive discharge voltage tests*

The voltage shall be applied and raised continuously until a disruptive discharge occurs on the test object. The value of the test voltage reached at the instant of the disruptive discharge shall be recorded.

The requirements of the test are generally satisfied if this voltage is not higher than the assured disruptive discharge voltage on each one of a specified number of voltage applications.

The relevant Technical Committee shall specify the number of voltage applications and the rate of rise of the voltage.

IECNORM.COM :: Click to view the full PDF of IEC 60060-1:1989

Withdwn

Section 6 : Essais en tension de choc de foudre

18 Définitions concernant les essais aux chocs de foudre

18.1 Définitions d'application générale

Ces définitions s'appliquent aux chocs sans oscillations ni dépassement ou à la courbe moyenne tracée à travers les oscillations ou le dépassement.

18.1.1 Choc de foudre plein

Choc de foudre qui n'est pas interrompu par une décharge disruptive (voir figure 6). Voir à l'article 3 la définition du choc et en 3.1 la distinction entre les chocs de foudre et de manœuvres.

18.1.2 Choc de foudre coupé

Choc de foudre qui est soudainement interrompu par une décharge disruptive provoquant une brusque chute de la tension, pratiquement jusqu'à zéro (voir figure 7 à 9). La chute peut se produire sur le front, sur la crête ou sur la queue du choc.

NOTE — La coupure peut être réalisée avec un éclateur de coupure extérieur ou peut survenir à cause d'une décharge disruptive dans l'isolation interne ou externe de l'objet en essai.

18.1.3 Valeur de la tension d'essai

La valeur de la tension d'essai est, pour un choc de foudre exempt d'oscillations, la valeur de crête.

La détermination de la valeur de crête, dans le cas d'oscillations ou de dépassement sur les chocs de foudre normalisés, est étudiée en 19.2.

Pour les autres formes de choc (voir par exemple les figures 10 eh), le Comité d'Études concerné doit définir la valeur de la tension d'essai, en tenant compte du type d'essai et du type d'objet en essai.

18.1.4 Durée du front T_1

La durée du front d'un choc de foudre est un paramètre conventionnel défini comme 1,67 fois l'intervalle de temps T compris entre les instants où la tension atteint 30 % et 90 % de la valeur de crête (points A et B des figures 6 à 8).

18.1.5 Origine conventionnelle O_1

L'origine conventionnelle O_1 d'un choc de foudre est l'instant qui précède d'une durée de $0,3T_1$ celui qui correspond au point A (figures 6 à 8). Pour les enregistrements à échelle de temps linéaire, c'est l'intersection avec l'axe des abscisses de la droite passant par les points de référence A et B du front.

Section 6: Tests with Lightning Impulse Voltage

18 Definitions for lightning impulse tests

18.1 Definitions of general applicability

These definitions apply to impulses without oscillations or overshoot or to the mean curve drawn through the oscillations and overshoot.

18.1.1 Full lightning impulse

A full lightning impulse is a lightning impulse which is not interrupted by a disruptive discharge (see figure 6). See Clause 3 for definition of impulse and 3.1 for distinction between lightning and switching impulses.

18.1.2 Chopped lightning impulse

A chopped lightning impulse is a lightning impulse during which a disruptive discharge causes a rapid collapse of the voltage, practically to zero value (see figures 7–9). The collapse can occur on the front, at the peak or on the tail.

NOTE — The chopping can be accomplished by an external chopping gap or may occur due to a discharge in the internal or external insulation of a test object.

18.1.3 Value of the test voltage

For a lightning impulse without oscillations, the value of the test voltage is its peak value.

The determination of the peak value in the case of oscillations or overshoot on standard lightning impulses is considered in 19.2.

For other impulse shapes (see for example figures 10 e–h) the relevant Technical Committee shall define the value of the test voltage taking into account the type of test and test object.

18.1.4 Front time T_1

The front time T_1 of a lightning impulse is a virtual parameter defined as 1,67 times the interval T between the instants when the impulse is 30% and 90% of the peak value (points A and B, figures 6–9).

18.1.5 Virtual origin O_1

The virtual origin O_1 of a lightning impulse is the instant preceding that corresponding to point A (see figures 6–9) by a time $0,3T_1$. For records having linear time scales, this is the intersection with the time axis of a straight line drawn through the reference points A and B on the front.

18.1.6 *Durée jusqu'à la mi-valeur T_2*

La durée jusqu'à la mi-valeur T_2 d'un choc de foudre est un paramètre conventionnel défini comme l'intervalle de temps compris entre l'origine conventionnelle O_1 et l'instant où la tension est tombée à la moitié de la valeur crête.

18.2 *Définitions propres aux tensions de chocs coupées*

Un choc de foudre coupé est un choc de foudre pendant lequel une décharge disruptive entraîne une chute rapide de la tension, qui décroît alors jusqu'à zéro ou au voisinage de zéro, avec ou sans oscillations (voir figures 7 à 9).

NOTE — Avec certains objets essai ou dispositions d'essais, il peut exister un aplatissement de la crête ou un arrondissement de la tension avant la chute de celle-ci à zéro. Des effets similaires peuvent être observés, dus aux imperfections du circuit de mesure. Une détermination précise des paramètres reliés à la coupure (18.2.1 à 18.2.5) demande la présence, d'une part d'une discontinuité anguleuse, d'autre part d'un dispositif de mesure spécial. Les autres cas sont laissés à l'appréciation des Comités d'Études concernés.

18.2.1 *Instant de la coupure*

L'instant de la coupure est l'instant initial où se produit la chute de tension brusque caractéristique.

18.2.2 *Durée jusqu'à la coupure T_c*

La durée jusqu'à la coupure est un paramètre conventionnel défini comme l'intervalle de temps entre l'origine conventionnelle O_1 et l'instant de la coupure.

18.2.3 *Caractéristiques en relation avec la chute de tension pendant la coupure*

Les caractéristiques conventionnelles de la chute de tension pendant la coupure sont définies par deux points C et D situés à 70 % et 10 % de la tension à l'instant de coupure (voir figure 7). La durée de la chute de tension est de 1,67 fois l'intervalle de temps entre les points C et D. La raideur de la chute de tension est le rapport de la tension à l'instant de coupure, à la durée de la chute de tension.

NOTE — Les points C et D sont utilisés uniquement pour les besoins des définitions; leur emploi n'implique pas que la durée et la raideur de la coupure puissent être mesurées avec quelque précision par les circuits de mesure traditionnels.

18.2.4 *Choc coupé ayant un front linéaire*

Une tension s'accroissant avec une raideur approximativement constante, jusqu'à ce qu'elle soit coupée par une décharge disruptive, est décrite comme un choc coupé à front linéaire.

Pour définir un tel choc, on trace la ligne droite la plus représentative dans la partie du front du choc située entre 30 % et 90 % de l'amplitude de crête; les intersections de cette ligne avec les amplitudes 30 % et 90 % sont alors désignées respectivement par les points E et F (voir figure 9).

Le choc coupé est défini par :

- la tension de crête U ,
- la durée du front définie conformément en 18.1.4 avec référence aux points E et F T_1 ,

18.1.6 Time to half-value T_2

The time to half-value T_2 of a lightning impulse is a virtual parameter defined as the time interval between the virtual origin O_1 and the instant when the voltage has decreased to half the peak value.

18.2 Definitions applicable only to chopped impulses

A chopped lightning impulse is a lightning impulse during which a disruptive discharge causes a rapid collapse of the voltage, which then falls to zero or nearly to zero, with or without oscillations (see figures 7-9).

NOTE — With some test objects or test arrangements, there may be a flattening of the peak or a rounding off of the voltage before the final voltage collapse. Similar effects may also be observed due to the imperfections of the measuring system. Exact determination of the parameters related to chopping (18.2.1 to 18.2.5) requires the presence of both a sharp discontinuity and a special measuring system. Other cases are left to the relevant Technical Committees for consideration.

18.2.1 Instant of chopping

The instant of chopping is that at which the rapid collapse of voltage which characterizes the chopping first occurs.

18.2.2 Time to chopping T_c

The time to chopping T_c is a virtual parameter defined as the time interval between the virtual origin O_1 and the instant of chopping.

18.2.3 Characteristics related to the voltage collapse during chopping

The virtual characteristics of the voltage collapse during chopping are defined in terms of two points C and D at 70% and 10% of the voltage at the instant of chopping, see figure 7. The duration of the voltage collapse is 1,67 times the time interval between points C and D. The steepness of the voltage collapse is the ratio of the voltage at the instant of chopping to the duration of voltage collapse.

NOTE — The use of points C and D is for definition purposes only; it is not implied that the duration and steepness of chopping can be measured with any degree of accuracy using conventional measuring systems.

18.2.4 Linearly rising front-chopped impulses

A voltage rising with approximately constant steepness, until it is chopped by a disruptive discharge, is described as a linearly rising front-chopped impulse.

To define such an impulse, the best fitting straight line is drawn through the part of the front between 30% and 90% of the peak amplitude; the intersections of this with the 30% and 90% amplitudes then being designated E and F, respectively (see figure 9).

The impulse is defined by:

- the peak voltage U ,
- the front time T_1 ,

— la raideur conventionnelle S :

$$S = U/T_1$$

C'est la pente de la ligne droite passant par les points E et F, généralement exprimée en kilovolts par microseconde.

Ce choc coupé est considéré comme étant approximativement linéaire si le front, à partir de l'amplitude 30 % jusqu'à l'instant de la coupure, est entièrement situé entre deux lignes parallèles à la ligne EF, mais décalées dans le temps d'une durée de $\pm 0,05T_1$ (voir figure 9).

NOTE — Les valeurs et tolérances relatives à la raideur conventionnelle S doivent être spécifiées par le Comité d'Études concerné.

18.3 Courbes tension/temps

18.3.1 Courbe tension/temps pour tensions de choc à front linéaire

Courbe reliant la tension de crête à la durée du front T_1 . La courbe est obtenue en appliquant des chocs avec des fronts linéaires de différentes raideurs.

18.3.2 Courbe tension/durée pour tensions de choc ayant une forme présumée constante

Courbe reliant la tension de décharge disruptive d'un objet en essai à la durée jusqu'à la coupure, qui peut se produire sur le front, sur la crête ou sur la queue. La courbe est obtenue en utilisant des chocs de forme constante mais des valeurs de crête présumées différentes (voir figure 11).

19 Tension d'essai

19.1 Choc de foudre normalisé

Choc de foudre plein ayant une durée du front de 1,2 μ s et une durée jusqu'à la mi-valeur de 50 μ s, dénommé choc 1,2/50.

19.2 Tolérances

Sauf spécification contraire du Comité d'Études concerné, les différences suivantes sont autorisées entre les valeurs spécifiées pour les chocs normaux et les valeurs réellement mesurées.

Valeur de crête $\pm 3 \%$

Durée du front $\pm 30 \%$

Durée à mi-valeur $\pm 20 \%$

NOTE 1 — On souligne le fait que les tolérances sur la valeur de crête, le temps de front et la durée jusqu'à mi-valeur constituent les différences autorisées entre les valeurs spécifiées et celles qui sont enregistrées réellement par les dispositifs de mesure. Ces différences doivent être en principe distinguées des erreurs de mesure qui sont la différence entre les valeurs réellement enregistrées et les vraies valeurs. Pour plus d'informations sur les erreurs de mesure, voir les Publications CEI 60-3 et 60-4.

— the virtual steepness S :

$$S = U / T_1$$

This is the slope of the straight line drawn through the points E and F, usually expressed in kilovolts per microsecond.

This chopped impulse is considered to be approximately linearly rising if the front, from 30% amplitude up to the instant of chopping, is entirely enclosed between two lines parallel to the line EF, but displaced from it in time by $\pm 0,05 T_1$ (see figure 9).

NOTE — The value and the tolerance on the virtual steepness S shall be specified by the relevant Technical Committee.

18.3 *Voltage/time curves*

18.3.1 *Voltage/time curves for linearly rising impulses*

The voltage/time curve for impulses with fronts rising linearly is the curve relating the peak voltage to the front time T_1 . The curve is obtained by applying impulses with linear fronts of different steepness.

18.3.2 *Voltage/time curve for impulses of constant prospective shape*

The voltage/time curve for impulses with constant prospective shape is the curve relating the discharge voltage of the test object to the time to chopping, which may occur on the front, at the peak or on the tail. The curve is obtained by applying impulse voltages of constant shape but with different prospective peak values (see figure 11).

19 **Test Voltage**

19.1 *Standard lightning impulse*

The standard lightning impulse is a full lightning impulse having a front time of 1,2 μ s and a time to half-value of 50 μ s. It is described as a 1,2/50 impulse.

19.2 *Tolerances*

If not otherwise specified by the relevant Technical Committee, the following differences are accepted between specified values for the standard impulse and those actually recorded:

Peak value $\pm 3\%$

Front time $\pm 30\%$

Time to half-value $\pm 20\%$

NOTE 1 — It is emphasized that the tolerances on the peak value, front time and time to half-value constitute the permitted differences between specified values and those actually recorded by measurements. These differences should be distinguished from measuring errors which are the difference between the values actually recorded and the true values. For information on measuring errors, see IEC Publication 60-3 and 60-4.

Avec certains circuits d'essai, des oscillations ou un dépassement peuvent se produire à la crête du choc (voir figures 10 ad). Si la fréquence de ces oscillations n'est pas inférieure à 0,5 MHz ou si la durée du dépassement n'est pas supérieure à 1 μ s, on doit tracer une courbe moyenne comme sur les figures 10 a et b et, en ce qui concerne la mesure, l'amplitude maximale de cette courbe est considérée comme la valeur de crête définissant la valeur de la tension d'essai.

Un dépassement ou des oscillations au voisinage de la crête, mesurés par des dispositifs correspondant aux spécifications de la Publication 60-3 de la CEI, sont tolérés à condition que l'amplitude de chacune de leurs crêtes ne soit pas supérieure à 5 % de la valeur de crête. Des oscillations sur le front du choc (en dessous de 90 % de la valeur de crête) comme celles qui apparaissent avec les circuits générateurs de chocs usuels, ont généralement une influence négligeable sur les résultats d'essais. Si le Comité d'Études concerné estime qu'elles ont une importance, il est recommandé que leurs amplitudes, mesurées à l'aide d'un dispositif adéquat comme spécifié dans la Publication 60-3 de la CEI soient en dessous de la droite passant par les points A'B' (voir figure 12). Ces points sont respectivement sur la verticale des points A et B déterminés conformément en 18.1.4, la distance AA' étant égale à 25 % et BB' à 5 % de la valeur de crête.

Le choc doit être en principe essentiellement unipolaire, mais voir Note 2.

NOTE 2 — Dans des cas particuliers, comme pendant des essais sur des objets ayant une faible impédance, ou sur des circuits à très haute tension ayant de grandes dimensions, il peut être impossible d'ajuster la forme du choc en respectant les tolérances recommandées tout en conservant les oscillations ou le dépassement à l'intérieur des limites spécifiées, ou d'éviter une inversion de polarité. Ces cas doivent être traités par le Comité d'Études concerné.

19.3 *Choc de foudre coupé normalisé*

Choc de foudre normalisé qui est coupé par un éclateur extérieur après 2 μ s à 5 μ s. D'autres durées jusqu'à la coupure peuvent être spécifiées par le Comité d'Études concerné. En raison des difficultés pratiques concernant les mesures, la durée de la chute de tension durant la coupure n'a pas été normalisée.

19.4 *Chocs de foudre spéciaux*

Dans certains cas des chocs de foudre oscillants peuvent être appliqués. Il est ainsi possible de générer des chocs avec des durées de front plus courtes ou des valeurs de crête correspondant à un rendement du générateur supérieur à 1.

19.5 *Production de la tension d'essai*

La tension d'essai est généralement produite par un générateur de chocs qui comporte un certain nombre de condensateurs chargés en parallèle par une source de tension continue et déchargés en série dans un circuit qui comprend l'objet en essai.

19.6 *Mesure de la tension d'essai et détermination de la forme du choc*

19.6.1 *Mesure à l'aide de dispositifs approuvés selon la Publication 60-3 de la CEI*

Il doit effectuer la mesure de la valeur de crête, des paramètres de temps et du dépassement ou des oscillations de la tension d'essai au moyen de dispositifs qui ont satisfait aux essais d'approbation indiqués dans la Publication 60-3 de la CEI. Les mesures doivent être faites avec l'objet en essai dans le circuit et, en général, la forme du choc doit être contrôlée pour chaque objet en essai. Quand plusieurs objets de mêmes caractéristiques et de mêmes dimensions sont essayés dans des conditions identiques, on n'a besoin de contrôler la forme du choc qu'une seule fois.

With some test circuits, oscillations or an overshoot may occur at the peak of the impulse, see figures 10 a to d; if the frequency of such oscillations is not less than 0,5 MHz or the duration of overshoot not more than 1 μ s, a mean curve should be drawn as in figures 10 a and b and, for the purpose of measurement, the maximum amplitude of this curve is chosen as the peak value defining the value of the test voltage.

Overshoot or oscillations in the neighborhood of the peak, measured by a system according to IEC Publication 60-3, are tolerated provided their single peak amplitude is not larger than 5% of the peak value. In commonly used impulse generator circuits, oscillations on that part of the wavefront during which the voltage does not exceed 90% of the peak value have generally negligible influence on test results. If the relevant Technical Committee finds these are of importance, it is recommended that their amplitudes, measured by a suitable measuring device, as specified in IEC Publication 60-3, are under the straight line drawn through the points A' B' (see figure 12). These points are taken on the verticals of, respectively, the points A and B determined according to 18.1.4, the distance AA' being equal to 25% and BB' to 5% of the peak value.

The impulse should be essentially unidirectional, but see Note 2.

NOTE 2 — In specific cases, such as during tests on low impedance objects or on UHV test circuits having large dimensions, it may be impossible to adjust the shape of the impulse within the tolerances recommended, to keep the oscillations and/or the overshoot within the specified limits or to avoid a polarity reversal. Such cases should be dealt with by the relevant Technical Committee.

19.3 *Standard chopped lightning impulse*

A standard chopped lightning impulse is a standard impulse chopped by an external gap after 2 to 5 μ s. Other times to chopping may be specified by the relevant Technical Committee. Because of practical difficulties in measurements, the duration of voltage collapse has not been standardized.

19.4 *Special lightning impulses*

In some cases oscillating lightning impulses may be applied. This offers the possibility of producing impulses with shorter front times or with peak values corresponding to a generator efficiency greater than 1.

19.5 *Generation of the test voltage*

The impulse is usually produced by an impulse generator consisting essentially of a number of capacitors which are charged in parallel from a direct voltage source and then discharged in series into a circuit which includes the test object.

19.6 *Measurement of the test voltage and determination of impulse shape*

19.6.1 *Measurement with devices approved under IEC Publication 60-3*

The measurement of the peak value, the time parameters and the overshoot or oscillations on the test voltage should in general be made with devices which have passed the approval procedure referred to in IEC Publication 60-3. The measurement shall be made with the test object in the circuit and, in general, the impulse shape shall be checked for each test object. Where a number of test objects of the same design and size are tested under identical conditions, the shape needs only to be verified once.

NOTE — Une détermination de la forme du choc par le calcul à partir des paramètres du circuit n'est pas considérée comme satisfaisante.

19.6.2 *Étalonnage d'un dispositif de mesure non approuvé à l'aide d'un dispositif de mesure approuvé*

Le mode opératoire consiste généralement à établir une relation entre l'indication d'un dispositif en rapport avec la tension d'essai (par exemple, la tension maximale de charge du premier étage du générateur de choc) et une mesure de la même tension effectuée en accord avec 19.6.1 ou avec un éclateur à sphères utilisé en accord avec la Publication 52 de la CEI.

La relation peut dépendre de la présence de l'objet en essai et de celle de l'éclateur à sphères, etc. Il est alors important que ces conditions soient les mêmes pendant l'étalonnage de l'éclateur à sphères et pendant l'essai, excepté que, durant l'essai, l'écartement entre les sphères peut être augmenté suffisamment pour éviter un amorçage.

Pour les essais sur objets ayant une isolation autorégénératrice, l'étalonnage devra être fait à 100 % ou au voisinage de 100 % de la valeur de la tension d'essai. Pour les essais sur objets ayant une isolation non autorégénératrice, l'extrapolation peut être inévitable, mais une telle extrapolation ne doit être faite qu'au dessus de 50 % de la tension d'essai. Cette extrapolation n'est admise que si la preuve est donnée que la tension d'essai reste proportionnelle à la variable choisie.

19.7 *Mesure du courant lors des essais avec des tensions de choc*

Le Comité d'Études concerné doit spécifier les caractéristiques du courant traversant l'objet en essai qu'il convient de mesurer pendant les essais avec des tensions de choc élevées. Quand ces mesures sont utilisées à des fins de comparaison, la forme de l'onde de courant est essentielle alors que la valeur absolue de ce courant peut présenter un intérêt moindre.

20 **Modalités pour les essais**

20.1 *Essais de tension de tenue*

Les modalités d'essai recommandées dépendent de la nature de l'objet en essai, comme défini dans l'article 5. Il appartient au Comité d'Études concerné de spécifier quelles modalités doivent être appliquées.

Dans les modalités A, B et C, seule la tension de tenue spécifiée est appliquée à l'objet en essai, tandis que, dans les modalités D, on doit appliquer plusieurs niveaux de tension.

20.1.1 *Essai de tension de tenue : Modalités A*

On applique à l'objet en essai trois chocs de la forme et de la polarité spécifiées, au niveau assigné de la tension de tenue. L'essai est satisfaisant si, en utilisant les méthodes de détection spécifiées par le Comité d'Études concerné, on ne constate aucune avarie.

NOTE — Ces modalités sont recommandées pour des essais sur une isolation dégradable ou non autorégénératrice.

NOTE — Determination of the impulse shape by calculation from the test circuit parameters is not considered to be satisfactory.

19.6.2 *Calibration of a non-approved measuring device with an approved measuring device*

The procedure usually consists of establishing a relationship between the display of some device related to the test voltage (for instance the maximum charging voltage of the first stage of the impulse generator) and a measurement of the same voltage performed in accordance with 19.6.1 or with a sphere-gap, used in accordance with IEC Publication 52.

The relationship may be dependent on the presence of the test object, of the sphere-gap, etc. Hence, it is important that these conditions are the same during the calibration and the actual test, except that during the test the sphere-gap may be opened sufficiently to prevent sparkover.

For tests on objects with self-restoring insulation, the calibration should be made at or near 100% of the test voltage. For tests on objects with non-self-restoring insulation, extrapolation may be unavoidable but such extrapolation shall be made from not less than 50% of the test voltage. The extrapolation is only permissible if it can be shown that the test voltage is proportional to the related quantity.

19.7 *Measurement of current during tests with impulse voltages*

The relevant Technical Committee shall specify the characteristics of a current flowing in the test object that should be measured during tests with high impulse voltages. When this type of measurement is used for comparative purposes wave shape is of importance and the measurement of the absolute value of this current may be of lesser importance.

20 **Test Procedures**

20.1 *Withstand voltage tests*

The recommended test procedure depends on the nature of the test object, as defined in Clause 5. The relevant Technical Committee shall specify which procedure shall be applied.

In procedures A, B and C the voltage applied to the test object is only the specified withstand value, while in procedure D several voltage levels have to be applied.

20.1.1 *Withstand voltage test: Procedure A*

Three impulses of the specified shape and polarity at the rated withstand voltage level are applied to the test object. The requirements of the test are satisfied if no indication of failure is obtained, using methods of detection specified by the relevant Technical Committee.

NOTE — This procedure is recommended for tests on degradable or non-self-restoring insulation.

20.1.2 Essai de tension de tenue : Modalités B

On applique à l'objet en essai 15 chocs de forme et de polarité spécifiées, au niveau de la tension de tenue. Les spécifications de l'essai sont satisfaites s'il ne se produit pas plus de deux décharges disruptives dans la partie autorégénératrice de l'isolation et si aucune indication d'avarie de l'isolation non autorégénératrice n'apparaît en utilisant les méthodes de détection spécifiées par le Comité d'Études concerné.

20.1.3 Essai de tension de tenue : Modalités C

On applique à l'objet en essai trois chocs de forme et de polarité spécifiées, au niveau de la tension de tenue. Si aucune décharge disruptive ne se produit, l'objet a satisfait à l'essai. Si plus d'une décharge disruptive se produit, l'objet n'a pas satisfait à l'essai. Si une décharge disruptive se produit dans la partie autorégénératrice de l'isolation, on applique neuf chocs supplémentaires et, si aucune décharge disruptive ne se produit, l'objet a satisfait à l'essai.

Si les méthodes de détection telles que spécifiées par le Comité d'Études concerné, font apparaître, à un moment quelconque de l'essai, une avarie dans la partie non autorégénératrice de l'isolation, l'objet en essai n'a pas satisfait à l'essai.

NOTE — Ces modalités correspondent à une pratique en vigueur aux États-nis modifiée de façon à être statistiquement équivalente aux modalités B.

20.1.4 Essai de tension de tenue : Modalités D

Pour une isolation autorégénératrice la tension 10 % de décharge disruptive U_{10} peut être estimée à l'aide des modalités d'essais statistiques décrites dans l'Annexe A.

Ces méthodes d'essais permettent soit une évaluation directe de U_{10} et U_{50} ou une évaluation indirecte de U_{10} .

Dans ce dernier cas, U_{10} est déduit de U_{50} à l'aide de la formule :

$$U_{10} = U_{50} (1 - 1,3z)$$

Le Comité d'Études concerné doit fixer la valeur à adopter pour la dispersion conventionnelle z de la tension de décharge disruptive. Pour les essais à sec d'isolation dans l'air, sans qu'aucune autre isolation soit concernée, on pourra utiliser la valeur $z = 0,03$.

L'objet en essai est réputé satisfaisant si U_{10} n'est pas inférieur à la tension de tenue au choc spécifiée.

Les méthodes d'essai suivantes peuvent être utilisées pour évaluer U_{50} :

- a) la méthode des paliers multiples (voir A.1.1) avec un nombre de paliers de tension $n \geq 4$ et un nombre de chocs par palier $m \geq 10$.
- b) la méthode de montée et descente (A.1.2) avec $m = 1$ choc par groupe et $n \geq 20$ applications de tension significatives.

Pour évaluer U_{10} , on peut utiliser la méthode de tenue montée et descente avec $m = 7$ chocs par groupe et au moins huit groupes significatifs.

20.1.2 Withstand voltage test: Procedure B

Fifteen impulses of the specified shape and polarity at the withstand voltage level are applied to the test object. The requirements of the test are satisfied if not more than two disruptive discharges occur in the self-restoring part of the insulation and if no indication of failure in the non-self-restoring insulation is obtained by the detection methods specified by the relevant Technical Committee.

20.1.3 Withstand voltage test: Procedure C

Three impulses of the specified shape and polarity at the withstand voltage level are applied to the test object. If no disruptive discharge occurs the test object has passed the test. If more than one disruptive discharge occurs the test object has failed to pass the test. If one disruptive discharge occurs in the self-restoring part of the insulation, then nine additional impulses are applied and if no disruptive discharge occurs the test object has passed the test.

If any detection of failure in a non-self-restoring part of insulation is observed with the detection methods specified by the relevant Technical Committee during any part of the test, the test object has failed to pass the test.

NOTE — This procedure corresponds to an American practice modified so as to be statistically equivalent to Procedure B.

20.1.4 Withstand voltage test: Procedure D

For self-restoring insulation the 10% impulse disruptive discharge voltage U_{10} may be evaluated by using statistical test procedures described in Appendix A.

These test methods permit either direct evaluation of U_{10} and U_{50} or indirect evaluation of U_{10} .

In the latter case U_{10} is derived from the U_{50} value using the relationship:

$$U_{10} = U_{50} (1 - 1,3z)$$

The relevant Technical Committee shall specify the value to be assumed for the conventional deviation z of the disruptive discharge voltage. For dry tests on air insulation, without any other insulation involved, the per-unit value $z = 0,03$ can be used.

The test object is deemed to be satisfactory if U_{10} is not less than the specified impulse withstand voltage.

The following test methods can be used to evaluate U_{50} :

- a) the multiple-level method (see Clause A.1.1) with $n \geq 4$ voltage levels, and $m \geq 10$ impulses per level;
- b) the up-and-down method (Clause A.1.2) with $m = 1$ impulse per group and $n \geq 20$ useful applications.

To evaluate U_{10} , the up-and-down withstand method, with $m = 7$ impulses per group and at least eight useful groups, can be used.

Dans tous les cas, il convient que le pas de tension ΔU entre paliers soit approximativement compris entre 1,5 et 3 % de la valeur estimée de U_{50} .

20.2 *Modalités pour essais de tension de décharge disruptive assurée*

Les modalités pour un essai de tension de décharge disruptive assurée sont similaires à celles qui sont décrites en 20.1, avec les changements adéquats entre conditions de décharge disruptive et de tenue.

Il appartient au Comité d'Études concerné de spécifier, pour des objets spécifiques, d'autres modalités.

IECNORM.COM :: Click to view the full PDF of IEC 60060-1:1989

Withdrawing

In all the cases the voltage interval between levels ΔU should be approximately from 1,5 to 3% of the estimated value of U_{50} .

20.2 *Procedures for assured discharge voltage tests*

The procedures for an assured discharge voltage test are similar to those described in 20.1 with the appropriate changes between discharge and withstand conditions.

The relevant Technical Committee may also specify other procedures for specific test objects.

IECNORM.COM :: Click to view the full PDF of IEC 60060-1:1989

Withd2AM

Section 7 : Essais aux chocs de manoeuvres

21 Définitions concernant les essais de chocs de manoeuvre

21.1 *Choc de manoeuvre*

Le choc de manoeuvre (distinct d'un choc de foudre) est défini en 3.1. Les caractéristiques d'un choc de manoeuvre sont exprimées par les paramètres définis dans 21.2 à 21.7 et illustrés par la figure 13.

Des paramètres supplémentaires peuvent être spécifiés par le Comité d'Études concerné pour des essais spécifiques.

21.2 *Valeur de la tension d'essai*

Sauf spécification contraire du Comité d'Études concerné, la valeur de la tension d'essai est la valeur de crête présumée.

21.3 *Durée jusqu'à la crête T_p*

La durée jusqu'à la crête T_p est l'intervalle de temps compris entre le point origine réel et l'instant où la tension a atteint sa valeur de crête.

21.4 *Durée jusqu'à la mi-valeur T_2*

La durée jusqu'à la mi-valeur T_2 d'un choc de manoeuvre est l'intervalle de temps compris entre le point origine réel et l'instant où la tension a décliné pour la première fois jusqu'à la moitié de la valeur de crête.

21.5 *Durée au-dessus de 90 % T_d*

La durée au-dessus de 90 % T_d est l'intervalle de temps pendant lequel la tension de choc est supérieure à 90 % de sa valeur de crête.

21.6 *Durée jusqu'à zéro T_0*

La durée jusqu'à zéro T_0 est l'intervalle de temps compris entre le point origine réel et l'instant où la tension passe par zéro pour la première fois.

La spécification de la durée au-dessus de 90 % et de la durée jusqu'à zéro au lieu de la durée jusqu'à mi-valeur est considérée comme utile lorsque la forme de la tension est imposée, par exemple par des phénomènes de saturation dans l'objet en essai ou dans le circuit d'essais, ou lorsque la sévérité d'un essai sur des parties importantes de l'isolation interne de l'objet en essai est considérée comme dépendant fortement de ces paramètres. Lors de la spécification d'un choc de manoeuvre, on donne généralement un seul jeu de paramètres relatifs à la forme d'onde. Les paramètres particuliers de durée choisis sont en principe indiqués clairement en se référant, par exemple, à un choc T_p/T_2 ou $T_p/T_d/T_0$.

NOTE — concernant 21.3 à 21.6 — Quelquefois, pour les chocs de manoeuvre, la durée de front est définie de façon identique à celle des chocs de foudre (18.1.4) ou encore d'une manière similaire avec d'autres points de référence et d'autres coefficients multiplicateurs. Pour les chocs de manoeuvre ayant les paramètres de temps comme indiqué en 22.1, la durée jusqu'à la crête se situe entre 1,4 et 1,8 fois la durée de front.

Section 7: Tests with Switching Impulses

21 Definitions for switching impulse tests

21.1 *Switching impulse*

A switching impulse (as distinct from a lightning impulse) is defined in 3.1. The characteristics of a switching impulse are expressed by the parameters defined in 21.2 to 21.7 (see figure 13).

Additional parameters can be specified by the relevant Technical Committee when considering specific tests.

21.2 *Value of the test voltage*

If not otherwise specified by the relevant Technical Committee, the value of the test voltage is the prospective peak value.

21.3 *Time to peak T_p*

The time to peak T_p is the time interval between the actual origin and the instant when the voltage has reached its peak value.

21.4 *Time to half-value T_2*

The time to half-value T_2 for a switching impulse is the time interval between the actual origin and the instant when the voltage has first decreased to half the peak value.

21.5 *Time above 90% T_d*

The time above 90% T_d is the time interval during which the impulse voltage exceeds 90% of its peak value.

21.6 *Time to zero T_0*

The time to zero T_0 is the time interval between the actual origin and the instant when the voltage has its first passage to zero.

Specification of the time above 90% and time to zero instead of the time to half-value is found useful, for instance, when the form of the impulse is dictated by saturation phenomena in the test object or the test circuit, or where the severity of the test on important parts of internal insulation of the test object is considered to be highly dependent on these parameters. When specifying a switching impulse, only one set of parameters related to the waveshape is generally given. The particular time parameters defined should be clearly indicated by reference, for example, to a T_p / T_2 or $T_p / T_d / T_0$ impulse.

NOTE — to 21.3 to 21.6 — The front duration for switching impulses is sometimes alternatively defined in the same manner as the front for lightning impulses (18.1.4) or in a similar manner with other reference points and multiplying factors. For switching impulses with time parameters as given in 22.1, the time to peak is between 1,4 and 1,8 times the front time.

21.7 *Durée jusqu'à la coupure T_c*

La durée jusqu'à la coupure T_c d'un choc de manoeuvre est l'intervalle de temps compris entre le point origine réel et l'instant de coupure.

21.8 *Choc à front linéaire*

La définition d'un choc à front linéaire (valable à la fois pour les chocs de foudre et pour les chocs de manoeuvre) est donnée en 18.2.4.

22 *Tension d'essai*

22.1 *Choc de manoeuvre normalisé*

Le choc de manoeuvre normalisé est un choc de durée jusqu'à la crête 250 μ s et de durée jusqu'à mi-valeur 2500 μ s. Il est appelé choc 250/2500.

22.2 *Tolérances*

Sauf spécification contraire du Comité d'Études concerné, les écarts suivants entre les valeurs spécifiées et celles qui sont réellement enregistrées sont acceptés, aussi bien pour les chocs normalisés que pour les chocs spéciaux (voir Note 1 du paragraphe 19.2) :

Valeur de crête	$\pm 3 \%$
Durée jusqu'à la crête	$\pm 20 \%$
Durée jusqu'à la mi-valeur	$\pm 60 \%$

Dans certains cas, par exemple avec des objets en essai de faible impédance, il peut être difficile d'ajuster la forme du choc pour rester à l'intérieur des tolérances recommandées. Dans de tels cas, d'autres tolérances ou d'autres formes de choc peuvent être spécifiées par le Comité d'Études concerné.

NOTE — La tension de décharge disruptive des grands intervalles dans l'air peut être influencée par la durée jusqu'à la crête et par la durée jusqu'à la mi-valeur d'un choc de manoeuvre. Il est donc recommandé pour de tels objets en essai de caractériser le choc de manoeuvre appliqué par ses paramètres de temps réels. De plus grandes tolérances peuvent être admises pour la durée présumée jusqu'à la mi-valeur dans le cas où une décharge disruptive se produit avant ou sur la crête de tension.

22.3 *Chocs de manoeuvre spéciaux*

Pour des utilisations spéciales, lorsque l'usage du choc de manoeuvre normalisé n'est pas considéré comme suffisant ou approprié, des chocs de manoeuvre spéciaux de forme aperiodique ou oscillante peuvent être prescrits par le Comité d'Études concerné.

NOTE — Lorsqu'une décharge est amorcée par un canal précurseur dans l'air à partir d'une électrode chargée positivement, on peut généralement considérer que deux chocs sont équivalents lorsqu'ils ont la même valeur de crête et le même intervalle de temps entre les deux points du front de l'onde correspondant respectivement à 70 et 100 % de la valeur de crête.

21.7 Time to chopping T_c

The time to chopping T_c of a switching impulse is the time interval between the actual origin and the instant of chopping.

21.8 Linearly rising impulse

The definition of a linearly rising impulse (applicable to both lightning and switching impulses) is given in 18.2.4.

22 Test voltage

22.1 Standard switching impulse

The standard switching impulse is an impulse having a time to peak T_p of 250 μs and a time to half-value T_2 of 2500 μs . It is described as a 250/2500 impulse.

22.2 Tolerances

If not otherwise specified by the relevant Technical Committee, the following differences are accepted between specified values and those actually recorded, both for standard and special impulses (see Note 1 to 19.2):

Peak value	$\pm 3\%$
Time to peak	$\pm 20\%$
Time to half-value	$\pm 60\%$

In certain cases, for instance with low impedance test objects, it may be difficult to adjust the shape of the impulse to within the tolerances recommended. In such cases other tolerances or other impulse shapes may be specified by the relevant Technical Committee.

NOTE — The disruptive discharge voltage of long gaps in air may be influenced by both the time to peak and the time to half-value of a switching impulse. Therefore it is recommended for such test objects that the applied switching impulse be characterized by its actual time parameters. Larger tolerances in the prospective time to half-value may be allowed in the case of a disruptive discharge occurring before or at the peak.

22.3 Special switching impulses

For special purposes, when the use of the standard switching impulse is not considered sufficient or appropriate, special switching impulses of either aperiodic or oscillating form may be prescribed by the relevant Technical Committee.

NOTE — When a discharge is initiated by a leader in air from a positively-charged electrode, two impulses may generally be considered as equivalent, when they have the same peak value and the same time interval between the respective two points on the front at 70% and 100% of the peak value.

22.4 Production de la tension d'essai

Les chocs de manoeuvre sont habituellement produits par un générateur de chocs traditionnel (voir paragraphe 19.5). Ils peuvent aussi être produits en appliquant une tension de choc à l'enroulement à basse tension d'un transformateur d'essai (ou du transformateur en essai). D'autres méthodes de production des chocs de manoeuvre peuvent être utilisées, par exemple l'interruption rapide du courant dans l'enroulement d'un transformateur.

Il convient que les éléments d'un circuit de production de chocs de manoeuvre soient choisis de manière à éviter une distorsion excessive de la forme du choc par les courants de décharges non-disruptives dans l'objet en essai. De tels courants peuvent atteindre des valeurs considérables, en particulier pendant des essais d'isolation externe sous pollution avec tensions élevées. Dans les circuits d'impédance interne très élevée, ils peuvent provoquer une déformation importante de la tension, ou même empêcher une décharge disruptive de se produire.

22.5 Mesure de la tension d'essai et détermination de la forme du choc

La mesure de la tension d'essai et la détermination de la forme du choc sont en principe faites comme cela est décrit en 19.6.1 et 19.6.2. Noter cependant que, bien que la Publication 52 de la CEI, 1960, ne donne aucune information spécifique concernant la mesure de la valeur de crête des chocs de manoeuvre, des mesures montrent que l'éclateur à sphères peut être néanmoins considéré comme un dispositif de mesure approuvé pour les tensions de choc de manoeuvres.

23 Procédures d'essai

Les procédures d'essai sont généralement les mêmes que pour les essais aux chocs de foudre et des considérations statistiques similaires s'appliquent (voir article 20 et Annexe A). Sauf spécification contraire du Comité d'Études concerné, l'écart-type conventionnel de la tension disruptive pour les essais à sec ou sous pluie de l'isolation dans l'air, sans qu'aucune autre isolation ne soit concernée, peut être considéré comme étant :

$$z = 0,06$$

En conséquence, des intervalles de tension ΔU plus grands peuvent être utilisés lorsque la procédure des paliers multiples ou celles de montée et descente sont appliquées.

NOTE — Avec les chocs de manoeuvre, des décharges disruptives se produisent fréquemment à des instants divers bien avant la crête. Quand on présente les résultats d'essais selon 20.1.4, la relation entre la probabilité de décharge disruptive et la tension est en général exprimée en termes de valeur de crête présumée. Cependant, une autre méthode est également utilisée dans laquelle la tension réelle de décharge disruptive pour chaque choc est mesurée; la distribution de probabilité des valeurs de tension mesurées est alors déterminée par la méthode décrite pour les essais de la classe 3 dans l'Annexe A.

22.4 *Generation of the test voltage*

Switching impulses are usually generated by a conventional impulse generator (see 19.5). They can also be generated by the application of a voltage impulse to the low-voltage winding of a testing transformer (or of a transformer to be tested). Other methods of generating switching impulses can be used, for example, involving the rapid interruption of current in a transformer winding.

The elements of a circuit for generating switching impulses should be chosen so as to avoid excessive distortion of the impulse shape due to non-disruptive discharge currents in the test object. Such currents can reach quite large values, especially during pollution tests on external insulation at high voltages. In test circuits having high internal impedance, they may cause severe distortion of the voltage or even prevent a disruptive discharge from occurring.

22.5 *Measurement of test voltage and determination of impulse shape*

The measurement of the test voltage and the determination of the impulse shape should be made as described in 19.6.1 and 19.6.2. Note that although IEC Publication 52, 1960, gives no information specifically related to the measurement of the peak value of switching impulses, measurements indicate that the sphere-gap can be regarded as an approved measuring device for switching impulse voltages.

23 **Test procedures**

The test procedures are in general the same as for lightning impulse testing and similar statistical considerations apply (see Clause 20 and Appendix A). Unless otherwise specified by the relevant Technical Committee, the conventional deviation of the disruptive discharge voltage for dry and wet tests on air insulation, without any other insulation involved, can be assumed to be:

$$z = 0,06$$

Correspondingly larger voltage intervals ΔU may be used when applying the multiple level or the up-and-down procedures.

NOTE — With switching impulses, disruptive discharges frequently occur at random times well before the peak. In presenting the results of discharge tests made in accordance with 20.1.4, the relationship between disruptive discharge probability and voltage is generally expressed in terms of the prospective peak value. However, another method is also in use in which the actual disruptive discharge voltage for every impulse is measured; the probability distribution of the measured voltage values is then determined by the method described for Class 3 tests in Appendix A.

Section 8 : Essais aux chocs de courant

24 Définitions concernant les essais aux chocs de courant

24.1 Chocs de courant

On considère deux types de choc de courant. Le premier type a une forme qui croît de zéro jusqu'à une valeur de crête pendant un temps court puis décroît ensuite jusqu'à zéro, soit à peu près exponentiellement, soit à la façon d'une sinusoïde fortement amortie. Ce type de choc est défini par sa durée de front T_1 et par sa durée jusqu'à mi-valeur T_2 (voir 24.3 et 24.5).

Le second type a une forme sensiblement rectangulaire et est défini par la durée jusqu'à la crête et la durée totale (voir 24.6 et 24.7).

24.2 Valeur du courant d'essai

La valeur du courant d'essai est normalement définie par la valeur de crête. Dans certains circuits d'essai, on peut rencontrer des lancés de courant ou des oscillations. Il appartient au Comité d'Etudes concerné de spécifier si la valeur du courant d'essai devra être définie par la crête réelle ou par la ligne moyenne tracée au milieu des oscillations.

24.3 Durée du front T_1

La durée du front T_1 d'un choc de courant est un paramètre conventionnel défini comme 1,25 fois l'intervalle de temps, T , entre les instants où le courant atteint 10 % et 90 % de la valeur de crête (voir figure 14a). Si des oscillations sont présentes sur le front, les points correspondant à 10 % et à 90 % doivent être pris sur la ligne moyenne tracée au milieu des oscillations de façon analogue à celle utilisée pour les chocs de foudre avec oscillations sur le front.

24.4 Origine conventionnelle O_1

L'origine conventionnelle O_1 d'un choc de courant précède d'une durée de $0,1T_1$ l'instant où le courant atteint 10 % de la valeur de crête. Pour les enregistrements à échelle de temps linéaire, c'est l'intersection avec l'axe des temps de la droite passant par les points de référence 10 % et 90 % du front.

24.5 Durée jusqu'à la mi-valeur T_2

La durée jusqu'à la mi-valeur T_2 d'un choc de courant est définie conventionnellement par l'intervalle de temps compris entre l'origine conventionnelle O_1 et l'instant où le courant a décru jusqu'à la moitié de la valeur de crête.

24.6 Durée de la crête d'un choc de courant rectangulaire T_d

La durée de la crête T_d d'un choc de courant rectangulaire est un paramètre conventionnel défini par le temps pendant lequel le courant dépasse 90 % de sa valeur de crête (voir figure 14b).

Section 8: Tests with Impulse Current

24 Definitions for impulse current tests

24.1 Impulse current

Two types of impulse currents are used. The first type has a shape which increases from zero to peak value in a short time, and thereafter decreases to zero either approximately exponentially or in the manner of a heavily-damped sine curve. This type is defined by the front time T_1 and the time to half-value T_2 (see 24.3 and 24.5).

The second type has an approximately rectangular shape and is defined by the duration of the peak and the total duration (see 24.6 and 24.7).

24.2 Value of the test current

The value of the test current is normally defined by the peak value. With some test circuits, overshoot or oscillations may be present on the current waveform. The relevant Technical Committee shall specify whether the value of the test current should be defined by the actual peak or by a smooth curve drawn through the oscillations.

24.3 Front time T_1

The front time T_1 of an impulse current is a virtual parameter defined as 1,25 times the interval T , between the instants when the impulse is 10% and 90% of the peak value (see figure 14a). If oscillations are present on the front, the 10% and 90% values shall be derived from a mean curve drawn through these oscillations in a manner analogous to that used for lightning impulses with oscillations on the front.

24.4 Virtual origin O_1

The virtual origin O_1 of an impulse current precedes by $0,1T_1$ that instant at which the current attains 10% of its peak value. For records having linear time scales, this is the intersection with the time axis of a straight line drawn through the 10% and 90% reference points on the front.

24.5 Time to half-value T_2

The time to half-value T_2 of an impulse current is a virtual parameter defined as the time interval between the virtual origin O_1 and the instant at which the current has decreased to half the peak value.

24.6 Duration of peak of a rectangular impulse current T_d

The duration of the peak of a rectangular impulse current T_d is a virtual parameter defined as the time during which the current is greater than 90% of its peak value (see figure 14b).

24.7 Durée totale d'un choc de courant rectangulaire T_1

La durée totale d'un choc de courant rectangulaire T_1 est un paramètre conventionnel défini par l'intervalle de temps pendant lequel la valeur du courant est supérieure à 10 % de sa valeur de crête (voir figure 14b). Si le front présente des oscillations, on tracera une ligne moyenne pour connaître l'instant où le courant atteindra la valeur de 10 %.

25 Courant d'essai

25.1 Chocs de courant normalisés

On utilise quatre chocs de courant normalisés correspondant au premier type de choc de courant défini au paragraphe 24.1.

— choc 1/20 :	durée du front :	1 μ s ;	durée jusqu'à mi-valeur :	20 μ s
— choc 4/10 :	durée du front :	4 μ s ;	durée jusqu'à mi-valeur :	10 μ s
— choc 8/20 :	durée du front :	8 μ s ;	durée jusqu'à mi-valeur :	20 μ s
— choc 30/80 :	durée du front :	30 μ s ;	durée jusqu'à mi-valeur :	80 μ s

Les chocs de courant rectangulaire ont des durées de front T_d égales à 500 μ s, 1000 μ s ou 2000 μ s ou entre 2000 μ s et 3200 μ s.

25.2 Tolérances

Sauf spécification contraire du Comité d'Etudes concerné, les différences suivantes sont autorisées entre les valeurs spécifiées pour les chocs de courant et celles réellement mesurées.

Pour les formes de choc de 1/20, 4/10, 8/20 et 30/80

Valeur de crête	± 10 %
Durée du front T_1	± 10 %
Durée jusqu'à mi-valeur T_2	± 30 %

On peut tolérer un léger lancé ou des oscillations pourvue que l'amplitude de l'alternance au voisinage de la crête soit égale ou inférieure à 5 % de la valeur de crête. Toute alternance de polarité inverse après le passage du courant par zéro ne devra pas être supérieure à 20 % de la valeur de crête.

Pour les formes de choc rectangulaires :

Valeur de crête	+20 %;	–0 %
Durée conventionnelle de la crête	+20 %;	–0 %

24.7 Total duration of a rectangular impulse current T_t

The total duration of a rectangular impulse current T_t is a virtual parameter defined as the time during which the current is greater than 10% of its peak value (see figure 14b). If oscillations are present on the front, a mean curve should be drawn in order to determine the time at which the 10% value is reached.

25 Test current

25.1 Standard impulse currents

Four standard impulse currents corresponding to the first type of impulse, defined in 24.1, are used.

— 1/20 impulse:	front time:	1 μ s;	time to half-value:	20 μ s;
— 4/10 impulse:	front time:	4 μ s;	time to half-value:	10 μ s;
— 8/20 impulse:	front time:	8 μ s;	time to half-value:	20 μ s;
— 30/80 impulse:	front time:	30 μ s;	time to half-value:	80 μ s;

Rectangular impulse currents have duration of the peak T_d of 500 μ s, 1000 μ s or 2000 μ s or between 2000 μ s and 3200 μ s.

25.2 Tolerances

If not otherwise specified by the relevant Technical Committee, the following differences are accepted between the specified values for standard impulse currents and those actually recorded:

For 1/20, 4/10, 8/20 and 30/80 impulses:

peak value	$\pm 10\%$
front time T_1	$\pm 10\%$
time to half-value T_2	$\pm 10\%$

A small overshoot or oscillations are tolerated provided that their single peak amplitude in the neighbourhood of the peak of the impulse is not more than 5% of the peak value. Any polarity reversal after the current has fallen to zero shall not be more than 20% of the peak value.

For rectangular impulses:

peak value	+20%;	-0%
duration of the peak	+20%;	-0%

On peut tolérer un lancé ou des oscillations pourvu que l'amplitude de l'alternance ne soit pas supérieure à 10 % de la valeur de crête. Il convient que la durée totale d'un choc rectangulaire ne soit pas être plus grande que 1,5 fois la durée de la crête et le courant de polarité inverse soit limité à 10 % de la valeur de crête.

25.3 *Mesure du courant d'essai*

La mesure du courant d'essai devra être faite au moyen de dispositifs qui ont satisfait aux essais d'approbation indiqués dans la Publication 60.3 de la CEI.

25.4 *Mesure de la tension pendant les essais de courants de choc*

Il convient de mesurer les tensions qui apparaissent aux bornes de l'objet en essai pendant les essais avec des courants de choc intenses avec un dispositif approuvé pour la mesure de tensions de choc selon la procédure mentionnée dans la Publication 60.3 de la CEI.

NOTE — Le courant de choc peut induire des tensions assez élevées dans le circuit de mesure de tension, occasionnant des erreurs de mesures appréciables. A titre de contrôle, il est recommandé, par conséquent, de déconnecter le conducteur qui relie normalement le diviseur au côté haute tension de l'objet en essai et de le connecter au côté mis à la terre de l'objet, tout en conservant approximativement la même disposition d'ensemble. Une variante est de court-circuiter l'objet en essai ou de le remplacer par un conducteur métallique rigide. Il convient de modifier le circuit d'essai de sorte que la tension mesurée dans chacune de ces quelles conditions, lorsque le générateur est déchargé, soit négligeable par rapport à la tension aux bornes de l'objet en essai, au moins durant la partie du choc ayant l'effet le plus déterminant sur les résultats d'essais.

An overshoot or oscillations are tolerated provided that their single peak amplitude is not more than 10% of the peak value. The total duration of a rectangular impulse shall not be larger than 1,5 times the duration of the peak and the polarity reversal should be limited to 10% of the peak value.

25.3 *Measurement of the test current*

The test current shall be measured by a device which has passed the approval procedure referred to in IEC Publication 60-3.

25.4 *Measurement of voltage during tests with impulse current*

Voltages developed across the test object during tests with high impulse currents should be measured by a device which has passed the approval procedure given in IEC Publication 60-3 for the measurement of impulse voltages.

NOTE — The impulse current may induce appreciable voltages in the voltage measuring circuit, causing significant errors. As a check, it is therefore recommended that the lead that normally joins the voltage divider to the live end of the test object should be disconnected from this point and connected instead to the earthed end of the test object, but maintaining approximately the same loop. Alternatively, the test object may be short-circuited or replaced by a solid metal conductor. The test circuit geometry should be modified until the voltage measured when the generator is discharged under any of these conditions is negligible in comparison with the voltage across the test object, at least during the part of the impulse which is of importance for evaluating the test results.

Section 9 : Essais avec des tensions combinées et essais composites

26 Essais sous tensions combinées

Un essai sous tensions combinées est un essai pendant lequel on applique aux deux bornes de l'objet en essai (par exemple un disjoncteur en position d'ouverture, voir figure 15a) et par rapport à la terre des tensions produites par deux sources séparées. Dans cet essai peuvent être combinées des tensions de choc, des tensions continues ou des tensions alternatives à fréquence industrielle.

La tension d'essai est caractérisée par son amplitude, un décalage temporel Δt ainsi que par la forme d'onde, la valeur de crête et la polarité de chaque composante.

Lors d'essais sous tensions combinées sur les appareils de connexion, on cherche à simuler les conditions où une borne de l'interrupteur ouvert est soumise à une haute tension spécifiée à fréquence industrielle et l'autre à une surtension de foudre ou de manoeuvre. Le circuit d'essai doit simuler cette situation à la fois pour l'isolation interne et externe. Dans certains cas, le Comité d'Études concerné peut permettre l'utilisation d'un choc de manoeuvre de forme adaptée au lieu de la tension à fréquence industrielle.

26.1 Valeur de la tension d'essai U

La valeur de la tension d'essai U est la différence de potentiel maximal entre les bornes sous tension de l'objet en essai (voir figure 15b).

26.2 Décalage temporel Δt

Le décalage temporel Δt d'une tension combinée est l'intervalle de temps entre les instants où les deux composantes atteignent leur valeur de crête, mesuré à partir de l'instant de la crête négative. Il est affecté d'une tolérance de $\pm 0,05T_{pmax}$ où T_p est la durée jusqu'à la crête ou la durée de front pour un choc et un quart de période pour une tension alternative, et T_{pmax} est la plus grande des valeurs de T_p pour les deux composantes.

Deux tensions d'un essai de chocs combinés sont dites synchrones quand leur décalage temporel Δt est nul, à la tolérance prescrite près.

26.3 Formes d'ondes de tension réelles

En raison du couplage entre les deux circuits générateurs, les formes et les amplitudes des deux composantes combinées diffèrent des tensions produites par les mêmes sources lorsqu'elles sont utilisées séparément. Elles doivent donc être mesurées ensemble, de préférence au moyen de systèmes de mesure séparés et référencés à la terre.

Chaque système de mesure doit être adapté à la fois à la mesure de la forme d'onde de chaque composante pour éviter les erreurs lors de l'enregistrement de leur influence mutuelle.

Les différences maximales admissibles par rapport à la forme de tension prescrite doivent être spécifiées par le Comité d'Études concerné.

NOTE — Dans le cas d'une décharge disruptive lors d'un essai de tensions combinées, il convient de tenir compte de l'interaction directe entre les deux sources de tension si il n'y a pas d'éléments de protection additionnels (par ex. résistances ou éclateurs de protection). La répartition de tension entre les deux sources est alors complètement modifiée.

Section 9: Combined and Composite Tests

26 Combined voltage tests

A combined voltage test is one in which two separate sources, generating voltages against earth, are connected to two terminals of the test object, (for example an open circuit breaker, see figure 15a). In such a test any two of lightning impulse, switching impulse, direct or power frequency alternating voltages may be combined.

The test voltage is characterized by its amplitude, a time delay Δt and by the waveshape, peak value and polarity of each component.

When combined voltage tests are performed on switchgear they are intended to simulate conditions where one terminal of the open switch is energized at the specified power frequency voltage, and the other terminal is subjected to either a lightning or switching overvoltage. The test circuit shall simulate this situation on both internal and external insulation. In special cases the relevant Technical Committee may permit power-frequency voltages to be simulated by switching impulses of suitable shape.

26.1 Value of the test voltage U

The value of the test voltage U is the maximum potential difference between the energized terminals of the test object (see figure 15b).

26.2 Time delay Δt

The time delay Δt of a combined voltage is the time interval between the instants when its components reach their peak values, measured from the instant of a negative peak (see figure 20). It has a tolerance of $\pm 0,05T_{pmax}$, where T_p is the time to peak or the front time for an impulse and a quarter cycle for an alternating voltage, and T_{pmax} is the larger of the values of T_p for the two components.

Two voltages of a combined impulse voltage test are said to be synchronous when their time delay Δt is zero, within the prescribed tolerance.

26.3 Actual voltage shapes

Due to the coupling between the two generating systems, the shapes and amplitudes of the two components of a combined voltage test differ from those produced by the same sources used separately. They shall therefore be measured in combination, preferably by means of separate measuring systems against earth.

Each measuring system shall be suitable for measuring the waveshape of both of the components in order to avoid errors in recording their mutual influence.

The maximum permissible deviations from the prescribed voltage shape shall be specified by the relevant Technical Committee.

NOTE — It should be taken into account that in the case of a disruptive discharge occurring in a combined voltage test, both the voltage sources will act directly against each other if there are no additional protective elements (e.g., resistors or protective gaps) in the circuit. In any case the voltage distribution between the two voltage sources will change completely when there is a disruptive discharge.

26.4 *Disposition de l'objet en essai*

La disposition de l'objet en essai, notamment vis à vis des structures à la terre doit toujours être spécifiée par le Comité d'Études concerné.

26.5 *Facteurs de correction atmosphérique*

Lors d'un essai de tension combinée, les facteurs de correction atmosphérique relatifs à la composante de valeur la plus élevée doivent être appliqués à la valeur de la tension d'essai.

27 **Essais composites**

Une tension composite est la tension résultante appliquée par rapport à la terre sur une borne d'un objet en essai, à l'aide de deux sources de tension différentes convenablement connectées.

La définition des paramètres est laissée à l'initiative du Comité d'Études concerné.

NOTE — Des essais composites peuvent également être réalisés par application d'une tension et d'un courant de choc à l'objet en essai.

26.4 *Arrangement of the test object*

The arrangement of the test object, particularly with respect to the earthed structures shall be specified by the relevant Technical Committee.

26.5 *Atmospheric correction factors*

In a combined voltage test, the atmospheric correction factors relative to the component of highest value have to be applied to the test voltage value.

27 **Composite tests**

A composite voltage is the voltage resulting from two different voltage sources suitably connected, applied at one terminal of the test object against earth.

The definition of its parameters is left to the relevant Technical Committee.

NOTE — Composite tests may also be performed by applying voltage and impulse-current sources to the test object.

Annexe A : Traitement statistique des résultats d'essais

A.1 Classification des essais

Les procédures d'essais de décharge disruptive peuvent être réparties en trois classes en vue de l'évaluation statistique.

A.1.1 Classe 1 : Méthode des paliers multiples

Un essai de Classe 1 consiste en l'application à chacun des n paliers de tension U_i ($i = 1, 2, \dots, n$) de m_i tensions sensiblement égales. Ceci s'applique généralement aux essais de choc, mais certains essais sous tension alternative ou continue font aussi partie de cette classe.

Les résultats d'essais sont les n nombres d'applications de tension m_i et les nombres correspondants de décharges disruptives d_i à chaque palier de tension U_i .

A.1.2 Classe 2 : Essais de montée et descente

Un essai de Classe 2 consiste en l'application de n groupes de m tensions sensiblement égales à un niveau de tension U_i . Le niveau de chaque groupe est augmenté ou diminué d'une faible quantité ΔU donnée, par rapport au niveau précédent en fonction du résultat du précédent groupe d'applications de tension.

On utilise en général une des deux procédures suivantes. La procédure d'essai de tenue vise à déterminer des niveaux de tension correspondant à de faibles probabilités de décharge disruptive alors que la procédure d'essai de décharge disruptive correspond à des probabilités élevées de décharges disruptives. Dans un essai de tenue, le niveau de tension est augmenté d'une quantité ΔU si on n'observe aucune décharge disruptive pendant un groupe de m applications; dans le cas contraire le niveau de tension est diminué de la même quantité. Dans un essai de décharge, le niveau de tension est augmenté de ΔU si il se produit une ou plusieurs tenues, dans le cas contraire le niveau est diminué de la même quantité.

Dans le cas de $m = 1$, les deux procédures coïncident et correspondent à l'essai de montée-descente conduisant à une tension 50 % de décharge disruptive.

Des essais sont également effectués avec d'autres valeurs de m pour d'autres probabilités de décharge disruptive. Les résultats sont traduits sous la forme des nombres k_i des groupes de tensions appliquées aux niveaux U_i . Le premier niveau considéré est celui auquel au moins deux groupes ont été appliqués. Le nombre total de groupes utiles est $n = \sum k_i$.

A.1.3 Classe 3 : Méthodes des décharges

Un essai de Classe 3 consiste en n répétitions d'une procédure conduisant à une décharge disruptive de l'objet en essai. La décharge disruptive peut être obtenue par une application continue de tensions croissantes, ou en conservant la tension jusqu'à l'obtention de la décharge disruptive. Les résultats sont traduits sous la forme de n valeurs de tension U_i ou temps t_i correspondant à l'apparition de la décharge disruptive.

Ces essais peuvent être réalisés sous tension continue, alternative ou de choc. On trouve en particulier dans cette classe les essais conduisant à une décharge disruptive sur le front du choc.

Appendix A: Statistical Treatment of Test Results

A.1 Classification of tests

Disruptive discharge test procedures can be divided into three classes for the purpose of statistical evaluation.

A.1.1 Class 1: Multiple-level tests

In a Class 1 test, m_i substantially equal voltage stresses (e.g., lightning impulses) are applied at each of n voltage levels U_i ($i = 1, 2, \dots, n$). While this procedure is usually employed with impulse voltages, some tests with alternating and direct voltages also fall into this class.

The test results are the n numbers m_i of voltage applications and the corresponding numbers d_i of disruptive discharges at each voltage level U_i .

A.1.2 Class 2: Up-and-down tests

In a Class 2 test, n groups of m substantially equal voltage stresses are applied at voltage levels U_i . The voltage level for each succeeding group of stresses is increased or decreased by a small amount ΔU according to the result of the previous group of stresses.

Two testing procedures are commonly used. The withstand procedure, aimed at finding voltage levels corresponding to low disruptive discharge probabilities and the discharge procedure, which finds voltage levels corresponding to high disruptive discharge probabilities. In the withstand procedure, the voltage level is increased by an amount ΔU if no disruptive discharge occurs in a group of m voltage applications, otherwise the voltage level is decreased by the same amount. In the discharge procedure, the voltage level is increased by ΔU if one or more withstands occur, otherwise it is decreased by the same amount.

Where $m = 1$, the two procedures become identical and correspond to the up-and-down 50% disruptive discharge voltage test.

Tests with other values of m are also used to determine voltages corresponding to other disruptive discharge probabilities. The results are the numbers k_i of stress groups applied at the voltage levels U_i . The first level U_i taken into account is that at which at least two groups of stresses were applied. The total number of useful groups is $n = \sum k_i$.

A.1.3 Class 3: Successive Discharge Tests

In a Class 3 test, a procedure leading to a disruptive discharge on the test object is applied n times. The test voltage may be increased continuously until a disruptive discharge occurs or held constant at some level until a disruptive discharge is observed. The results are the n values of voltage U_i or time t_i at which the disruptive discharge occurred.

Such tests are made with direct, alternating or impulse voltages. Tests where disruptive discharges occur on the front of the impulse fall into this class.

A.2 Caractère statistique des décharges disruptives

Pour une procédure d'essai donnée, quand la probabilité p ne dépend que de la valeur U de la contrainte de tension, le comportement de l'isolation peut être représenté par une fonction $p(U)$ déterminée par les processus physiques de développement de la décharge. Pour les applications pratiques, cette fonction (fonction de probabilité de décharge disruptive) peut être approchée par une expression mathématique dépendant au moins de deux paramètres U_{50} et z . U_{50} est la tension 50 % de décharge disruptive pour laquelle $p(U) = 0,5$ et z la dispersion conventionnelle, $z = U_{50} - U_{16}$, où U_{16} est la tension pour laquelle $p(U) = 0,16$.

NOTE 1 — Des exemples typiques de ces fonctions sont déduits des distributions Gaussienne (ou normale), de Weibull ou de Gumbel. L'expérience pratique montre que dans la gamme de p comprise entre 15 % et 85 % la plupart des fonctions de distribution théoriques sont équivalentes. Des distributions particulières de Weibull ou Gumbel constituent des approximations acceptables d'une distribution gaussienne de paramètres U_{50} et z , pour p compris entre 2 % et 98 %. Il y a peu de renseignements disponibles au delà de ces limites.

NOTE 2 — Dans certains cas p est une fonction de deux ou plusieurs paramètres (par exemple U et dU/dt). On ne peut alors représenter la probabilité de décharge p par une fonction simple de distribution de probabilité. Pour plus de détails, voir la littérature technique.

La fonction $p(U)$ et les paramètres U_{50} et z peuvent être déduits d'essais comportant un grand nombre d'applications de tension, pourvu que les caractéristiques de l'objet en essai restent constantes tout au long de l'essai.

En pratique le nombre d'applications de tension est en général limité et les estimateurs de U_{50} et z , conditionnés par des hypothèses sur la forme de $p(U)$, sont sujets à des incertitudes statistiques.

A.2.1 Intervalle de confiance et erreur statistique

Quand un paramètre y est estimé à partir de n résultats d'essais on peut définir un intervalle de confiance de bornes y_U et y_L et dans lequel il y a une probabilité C de trouver la vraie valeur. On appelle niveau de confiance la probabilité C et erreur statistique la moitié de l'intervalle de confiance soit $e_s = (y_U - y_L) / 2$.

En général C est pris égal à 0,95 (ou 0,90) et il lui correspond un intervalle de confiance à 95 % (ou à 90 %).

L'erreur statistique e_s dépend à la fois de n et de la dispersion conventionnelle z . Il convient d'estimer z autant que possible à partir de conditions d'essais réalistes. En général l'estimation de z est meilleure quand le nombre d'essai augmente. Il convient de tenir compte lors d'une série d'essais prolongée de changements des conditions ambiantes qui peuvent, dans une certaine mesure, annuler le bénéfice en précision obtenue par l'augmentation du nombre d'essais.

Etant donné qu'il n'est pas possible d'obtenir une estimation précise de z à partir d'une série d'essais limitée, les Comités d'Études concernés donnent le plus souvent des valeurs estimées déduites d'un grand ensemble de résultats d'essais.

L'erreur statistique e_s peut être combinée avec des estimateurs des autres erreurs (par ex. erreurs de mesures) pour définir les limites de l'erreur globale affectant la détermination d'un paramètre particulier.

A.2 Statistical Behaviour of Disruptive Discharge

When p , the probability of a disruptive discharge during a given test procedure, depends only on the test voltage, U , the behaviour of the test object can be characterized by a function $p(U)$ determined by the processes of discharge development. In practice, this function, the disruptive discharge probability function, can be represented mathematically by expressions depending on at least two parameters U_{50} and z . U_{50} is the 50% discharge voltage for which $p(U) = 0,5$ and z is the conventional deviation; $z = U_{50} - U_{16}$ where U_{16} is the voltage for which $p(U) = 0,16$.

NOTE 1 — Examples of $p(U)$ can be derived from the Gaussian (or Normal), the Weibull or the Gumbel probability distribution functions. Experience shows that for $0,15 < p < 0,85$ most theoretical distributions can be considered equivalent. Special Weibull or Gumbel distributions are acceptable approximations to a Gaussian distribution having given U_{50} and z for p lying between 0,02 and 0,98. Beyond these limits little information is available.

NOTE 2 — Sometimes p is a function of two or more parameters, e.g., U and dU/dt . In such cases no simple function can be used to describe p . Details of such cases may be found in the technical literature.

The function $p(U)$ and the parameters U_{50} and z can be found from tests with very large numbers of voltage applications, provided that the characteristics of the test object remain constant throughout the tests.

In practice the number of voltage applications is usually limited and the estimates of U_{50} and z based on an assumed form of $p(U)$ will be subject to statistical uncertainties.

A.2.1 Confidence limits and statistical error

If a parameter y is estimated from n test results, upper and lower confidence limits y_U and y_L can be defined, with the probability C that the true value of y is within these limits. C is termed the confidence level and the half width $e_r = (y_U - y_L) / 2$ of the confidence band is called the statistical error.

Usually C is taken as 0,95 (or 0,90) and the corresponding limits are called the 95% (or 90%) confidence limits.

The statistical error e_r depends on both n and the value of the conventional deviation z . The conventional deviation z should be estimated when possible from tests made under realistic conditions. In general, the larger the number of tests made, the better will be the estimate of z . It should, however, be remembered that during a protracted test series, ambient conditions may change to an extent which offsets the gain in accuracy from the increased number of tests.

Since accurate estimation of z from a limited series of tests is not possible, values estimated from the pooled results of many tests are often given by the relevant Technical Committees.

The statistical error e_r may be combined with estimates of other errors (e.g., measuring errors) to define the overall error limits for the determination of a particular parameter.

A.3 Analyse des résultats d'essais

Ce qui suit s'applique aux cas où les résultats des essais peuvent être considérés comme indépendants— c'est à dire quand le n ième résultat n'est pas influencé par les événements des essais $(n - 1)$ ou $(n - j)$ ième.

A.3.1 Traitement des résultats des essais de Classe 1

Dans ce cas, la fréquence de décharge disruptive $f_i = d_i / m_i$ au niveau de tension U_i est prise comme estimateur de la probabilité $p(U_i)$ de décharge disruptive à ce niveau. Les n estimateurs de $p(U_i)$ obtenus dans un essai de Classe 1 peuvent être ajustés à une fonction présumée $p(U)$ de distribution de probabilité et les paramètres U_{50} et z déterminés.

Ceci peut être réalisé en portant f_i en fonction de U_i sur un papier graphique spécial qui donne une ligne droite quand les estimateurs de la probabilité obéissent à une fonction donnée $p(U)$ de distribution de probabilité. Un exemple bien connu est celui du papier gaussio-arithmétique, destiné à la Loi Normale, qui conduit à un tracé rectiligne quand les estimateurs répondent à la fonction de Gauss :

$$p(U) = (1 / z \sqrt{2\pi}) \int_{-\infty}^U \exp [-(u - U_{50})^2 / 2z^2] du$$

NOTE — Les papiers pour Loi Normale ne présentent pas une échelle d'ordonnée s'étendant de $p = 0$ à $p = 1$. En conséquence les résultats d'essais pour des tensions correspondant à 100 % d'amorçage $d_i = m_i$ ou 0 % d'amorçage $d_i = 0$ ne peuvent être reportés directement. On peut utiliser ces résultats en les combinant avec les valeurs obtenues pour un niveau de tension voisin et en leur affectant une tension moyenne pondérée.

La détermination analytique peut également être réalisée par la méthode des moindres carrés ou du maximum de vraisemblance (voir A.4), ces méthodes conduisant à la fois à l'estimation des paramètres U_{50} et z de leurs intervalles de confiance.

Si l'on veut vérifier que la fonction de probabilité estimée respecte avec une précision suffisante les points de mesure, il convient d'utiliser des méthodes convenables telles que celles des coefficients de régression conventionnelle ou des intervalles de confiance. Voir la littérature technique correspondante.

En règle générale, l'erreur statistique a tendance à varier à l'inverse de la racine carrée du nombre d'applications de tension à chaque niveau m_i , et inversement au nombre de niveaux utilisés n . On peut noter que si toutes les valeurs de f_i diffèrent de 0 et de 1, avec 10 applications de tension ($m = 10$) à chacun des cinq niveaux de tension ($n = 5$), l'intervalle de confiance à 95 % sera

pour U_{50} :

$$(U_{50}^* - 0,75z^*) \leq U_{50} \leq (U_{50}^* + 0,75z^*)$$

et pour z :

$$0,4 z^* \leq z \leq 2,0 z^*$$

où U_{50}^* et z^* sont les estimateurs de U_{50} et z obtenus par ajustement des résultats d'essais à une fonction présumée de probabilité de décharge $p(U)$. En outre, l'erreur statistique tend vers des valeurs basses pour des estimateurs de U_p au voisinage de $p = 0,5$ ou 50%.

A.3 Analysis of Test Results

This Clause is applicable to cases where the results of tests can be regarded as independent estimates, i.e., where the n th result is not influenced by what may have occurred in the $(n-1)$ th or $(n-j)$ th tests.

A.3.1 Treatment of Results from Class 1 Tests

In this case the discharge frequency $f_i = d_i/m_i$ at a voltage level U_i is taken as an estimate of $p(U_i)$ the discharge probability at the voltage level U_i . The n estimates of $p(U_i)$ obtained in a Class 1 test can then be fitted to an assumed probability distribution function $p(U)$ and the parameters U_{50} and z determined.

This may be done by plotting f_i versus U_i on special graph paper designed to give a straight line plot when the probability estimates conform to a particular probability distribution function $p(U)$. A well-known example is Gaussian or Normal probability paper which yields a straight line plot for estimates conforming to the Gaussian distribution function:

$$p(U) = (1 / z \sqrt{2\pi}) \int_{-\infty}^U \exp [-(u - U_{50})^2 / 2z^2] du$$

NOTE — Normal probability papers do not have ordinate scales embracing the values $p=0$ or $p=1$. Accordingly, tests at voltage levels causing all discharges $d_i = m_i$ or no discharges $d_i = 0$ cannot be plotted directly. A possible way of using these results is to combine them with values obtained for an adjacent voltage level and to plot them as the weighted mean voltage.

Alternatively analytical fitting techniques involving the least-squares method or likelihood methods (see A.4) may be used to find U_{50} , z and the confidence limits of these estimates.

In any case adequate methods (such as conventional regression coefficients or confidence limits) should be used to check if the assumed probability function fits the measured points with sufficient accuracy. Reference is made to the relevant technical literature.

As a general guide the statistical error tends to vary inversely as the square root of the number of voltage applications at each level m , and inversely as the number of levels used n . Note also that if all values of f_i differ from zero and unity, with 10 voltage applications ($m=10$) at each of five levels ($n=5$) the 95% confidence limits would be:

For U_{50} :

$$(U_{50}^* - 0,75 z^*) \leq U_{50} \leq (U_{50}^* + 0,75 z^*)$$

and for z :

$$0,4z^* \leq z \leq 2,0z^*$$

where U_{50}^* and z^* are the estimates of U_{50} and z obtained by fitting the test results to an assumed discharge probability distribution function $p(U)$. In addition the statistical error tends towards lower values for estimates of U_p in the vicinity of $p=0,5$ or 50%.

A.3.2 Traitement des résultats des essais de Classe 2

Un essai de Classe 2 conduit à un estimateur de U_p , la valeur de la tension de décharge disruptive, correspondant à une probabilité de décharge p . L'estimateur, U_p^* de U_p , est donné par :

$$U_p^* = \sum (k_i U_i) / n$$

où k_i est le nombre de groupes de tensions appliquée au niveau U_i . Voir la littérature technique pour une formule plus précise.

Pour éviter des erreurs importantes, la valeur de niveau le plus bas considéré ne doit pas différer de U_p^* de plus de $2\Delta U$.

La procédure de tenue décrite en A.1.2 permet d'estimer U_p , à probabilité de décharge disruptive p donnée par :

$$p = 1 - (0,5)^{1/m}$$

alors que la procédure de décharge donne U_p pour :

$$p = (0,5)^{1/m}$$

Les valeurs de p pour lesquelles U_p peut être estimé lors d'essais de montée-descente sont limitée à cause de l'exigence que m soit entier. Quelques exemples figurent au tableau A.1.

Tableau A1

$m =$	70	34	14	7	4	3	2	1	
$p =$	0,01	0,02	0,05	0,10	0,15	0,20	0,30	0,50	(procédure de tenue)
$p =$	0,99	0,98	0,95	0,90	0,85	0,80	0,70	0,50	(procédure de décharge)

Des procédures existent qui permettent d'estimer z et son intervalle de confiance mais elles ne sont pas recommandées pour une utilisation générale.

A.3.3 Traitement des résultats des essais de Classe 3

Le résultat d'un essai de Classe 3 est en général une série de n tensions U_i à partir de laquelle on peut déterminer les paramètres U_{50} et z d'une fonction de probabilité de décharge disruptive. Pour une distribution gaussienne (ou normale), les estimateurs des paramètres U_{50} et z sont donnés par :

$$U_{50}^* = \sum U_i / n$$

A.3.2 Treatment of results from Class 2 Tests

A Class 2 test provides an estimate of U_p , the voltage at which the disruptive discharge probability is p . U_p^* , the estimate of U_p , is given by:

$$U_p^* = \sum (k_i U_i) / n$$

where k_i is the number of groups of stresses applied at the voltage level U_i . For a more accurate formula see the technical literature.

To avoid appreciable errors, the lowest voltage level taken into account should not differ from U_p^* by more than $2\Delta U$.

The withstand procedure described in A.1.2 provides an estimate of U_p for a disruptive discharge probability p given by:

$$p = 1 - (0,5)^{1/m}$$

while the discharge procedure gives U_p for:

$$p = (0,5)^{1/m}$$

The values of p for which U_p can be estimated in up and down tests are limited by the requirement that m be an integer. Examples are given in Table A1.

Table A1

$m =$	70	34	14	7	4	3	2	1	
$p =$	0,01	0,02	0,05	0,10	0,15	0,20	0,30	0,50	(withstand procedure)
$p =$	0,99	0,98	0,95	0,90	0,85	0,80	0,70	0,50	(discharge procedure)

Procedures for estimating z and its confidence limits are also available but are not recommended for general use.

A.3.3 Treatment of Results from Class 3 Tests

The result of a Class 3 test is usually a series of n voltages U_i from which parameters U_{50} and z of a disruptive discharge probability function are to be determined. For a Gaussian (or Normal) distribution, estimates of the parameters U_{50} and z are given by:

$$U_{50}^* = \sum U_i / n$$

$$z^* = \left[\sum (U_i - U_{50}^*)^2 / (n - 1) \right]^{1/2}$$

Pour d'autres distributions, on peut employer des méthodes de vraisemblance pour estimer U_{50} et z (voir A.4). Les mêmes méthodes et expressions s'appliquent aux cas où les instants t_i d'apparition d'une décharge disruptive doivent être analysés.

L'intervalle de confiance des distributions gaussiennes peut être obtenu à l'aide des distributions de Student ou du Khi-deux décrites dans la littérature technique.

A titre d'exemple, dans le cas d'une distribution gaussienne, l'intervalle de confiance à 95 % des estimateurs U_{50} et z , obtenus lors d'un essai avec $n = 20$, est

$$(U_{50}^* - 0,47z^*) \leq U_{50} \leq U_{50}^* + 0,47z^*$$

et

$$0,76z^* \leq z \leq 1,46z^*$$

A.4 Application des méthodes de vraisemblance

Les méthodes de vraisemblance peuvent être utilisées pour analyser les résultats de toutes les classes d'essais mentionnées ci-dessus. Ces méthodes permettent d'estimer U_{50} et z et donc U_p , une fois choisie la fonction $p(U_i; U_{50}, z)$ de probabilité de décharge disruptive.

De plus, il est possible d'utiliser tous les résultats obtenus et on peut obtenir l'intervalle de confiance correspondant à tout niveau de confiance C .

A.4.1 Fonction de vraisemblance

Dans les essais de Classe 1 et de Classe 2, on connaît le nombre de décharges d_i et le nombre de tenues w_i obtenu pour chaque niveau de tension U_i . Si on connaît (ou suppose) la forme de la fonction de distribution de la probabilité de décharge $p(U_i; U_{50}, z)$ la probabilité de décharge disruptive au niveau U_i est $p(U_i; U_{50}, z)$ et la probabilité de tenue $(1 - p(U_i; U_{50}, z))$. La fonction de vraisemblance L_i correspondant à d_i décharges et w_i tenues au niveau de tension est alors :

$$L_i = p(U_i; U_{50}, z)^{d_i} (1 - p(U_i; U_{50}, z))^{w_i}$$

Comme U_i , d_i et w_i sont connues L_i est une fonction de U_{50} et z seulement.

La vraisemblance pour un ensemble complet de résultats couvrant n valeurs de U_i est :

$$L = L_1 L_2 \dots L_i \dots L_n = L(U_{50}, z)$$

Pour des essais de Classe 3, chaque niveau de tension U_i qui apparaît dans les résultats correspond à une décharge disruptive. En général, un niveau de tension U_i apparaîtra m_i fois quand $m_i \geq 1$. La vraisemblance L devient alors :

$$z^* = \left[\sum (U_i - U_{50}^*)^2 / (n - 1) \right]^{1/2}$$

For other distributions likelihood methods can be employed to estimate U_{50} and z (see A.4). The same expressions and methods apply in cases where times to the occurrence of a disruptive discharge t_i are to be analyzed.

The confidence limits for Gaussian distributions may be found using the Student's t or Chi-squared distributions as described in the technical literature.

As an example, in the case of a Gaussian distribution, the 95% confidence limits for the estimates of U_{50} and z obtained from a test with $n = 20$ are:

$$(U_{50}^* - 0,47z^*) \leq U_{50} \leq (U_{50}^* + 0,47z^*)$$

and

$$0,76z^* \leq z \leq 1,46z^*$$

A.4 Application of likelihood methods

Likelihood methods may be used for the analysis of the results of all of the above classes of tests. These methods permit estimation of U_{50} and z and hence U_p once a discharge probability distribution function $p(U; U_{50}, z)$ is selected.

Furthermore, it is possible to use all the results obtained and the confidence limits corresponding to any desired confidence level C can be found.

A.4.1 The likelihood function

For Class 1 and Class 2 tests the numbers of discharges, d_i , and the numbers of withstands w_i found at each voltage level U_i are known. If the form of the discharge probability distribution function $p(U; U_{50}, z)$ is known or assumed, the probability of a discharge at the level U_i is $p(U_i; U_{50}, z)$ and the probability of a withstand is $(1 - p(U_i; U_{50}, z))$. The likelihood function L_i corresponding to d_i discharges and w_i withstands occurring at a voltage level U_i is then:

$$L_i = p(U_i; U_{50}, z)^{d_i} (1 - p(U_i; U_{50}, z))^{w_i}$$

As U_i , d_i and w_i are known, L_i is a function of U_{50} and z only.

The likelihood of a complete set of results embracing n values of U_i then becomes:

$$L = L_1 L_2 \dots L_i \dots L_n = L(U_{50}, z)$$

For Class 3 tests each voltage level U_i which appears in the results, corresponds to a disruptive discharge. In general, a voltage level U_i will appear m_i times where $m_i \geq 1$. The likelihood L then becomes:

$$L = f(U_1; U_{50}, z)^{m_1} f(U_2; U_{50}, z)^{m_2} \dots f(U_m; U_{50}, z)^{m_m}$$

où

$$f = dp/du$$

On peut trouver dans la littérature des méthodes pour calculer L à partir d'un ensemble complet de résultats, en considérant des groupes de résultats sur un certain nombre d'intervalles de tension.

A.4.2 Estimation de U_{50} et z

Les meilleurs estimateurs de U_{50} et z sont les valeurs U_{50}^* et z^* qui rendent maximum L .

Ils sont fréquemment obtenus avec un ordinateur par des calculs répétés de L pour des valeurs présumées de U_{50}^* et z^* qui sont incrémentées au fur et à mesure de la détermination de U_{50}^* et z^* . Une fois connue U_{50}^* et z^* , on peut obtenir U_p , correspondant à toute valeur souhaitée p de la probabilité de décharge, à partir de la fonction présumée de probabilité de décharge disruptive avec $U_{50} = U_{50}^*$ et $z = z^*$. On trouve dans la littérature des méthodes pour déterminer l'intervalle de confiance de U_{50}^* et z^* . Dans le cas où $C = 0,90$, l'équation : $L(U_{50}; z) = 0,1L_{\max}$ permet la détermination des intervalles de confiance.

$$L = f(U_1; U_{50}, z)^{n_1} f(U_2; U_{50}, z)^{n_2} \dots f(U_m; U_{50}, z)^{n_m}$$

where

$$f = dp/du$$

Methods for calculating L from extensive sets of results by considering groups of results lying in a number of voltage intervals can be found in the literature.

A.4.2 Estimation of U_{50} and z

The best estimates of U_{50} and z are the values U_{50}^* and z^* which maximize L .

These are frequently found by using a computer to make repeated calculations of L for assumed values of U_{50}^* and z^* . With U_{50}^* and z^* fixed, U_p corresponding to any desired value of discharge probability, p , can be found from the assumed discharge probability distribution function with $U_{50} = U_{50}^*$ and $z = z^*$. Methods for determining the confidence limits of U_{50}^* and z^* are to be found in the literature. For the case of $C = 0,9$ the equation $L(U_{50}; z) = 0,1L_{\max}$ permits determination of these confidence limits.

Annexe B : Modalités d'essais sous pollution

B.1 Production du brouillard salin

B.1.1 Préparation de la solution saline

La solution saline obtenue à partir de sel (NaCl de pureté commerciale) et d'eau du robinet devra avoir la salinité requise. Il convient que la concentration soit égale à ± 5 % près à une des valeurs suivantes : 2,5 g, 3,5 g, 5 g, 7 g, 10 g, 14 g, 20 g, 28 g, 40 g, 56 g, 80 g, 112 g, 160 g ou 224 g par litre de solution.

On peut déterminer la concentration en mesurant soit la résistivité soit la masse volumique de la solution saline. Les figures 16 et 17, donnent les valeurs de la résistivité et de la masse volumique en fonction de la concentration en sel et à 10°C, 20°C et 30°C.

B.1.2 Description détaillée du système de pulvérisation

Le brouillard est produit dans la chambre au moyen d'un certain nombre de pulvérisateurs comme le montrent la figure 18 et la description ci-dessous. Chaque jet est produit par deux gicleurs, respectivement pour l'air et la solution saline. L'air comprimé est ainsi soufflé perpendiculairement au jet de solution en le transformant en fin brouillard.

Les ajutages d'air doivent être alimentés au travers de filtres, en air exempt d'huile à une pression de 700 kPa avec une tolérance de ± 4 %. Les ajutages de solution doivent être alimentés avec la solution saline spécifiée à une pression ajustée de façon à ce que le débit de solution par gicleur soit de 0,5 L/min à ± 10 % près pendant la durée de l'essai; la tolérance sur le débit total pour l'ensemble des pulvérisateurs est de ± 5 % de la valeur nominale. En conséquence, la pression de solution doit également être maintenue constante pendant tout l'essai.

Les pulvérisateurs, espacés de 0,60 m, sont montés sur deux rampes, parallèlement à l'axe de l'objet et de part et d'autre à une distance de 3 m. Les jets de chaque rampe sont dirigés les uns vers les autres. Chaque rampe doit avoir une longueur qui dépasse celle de l'objet d'au moins 0,6 m à chaque extrémité. L'objet est disposé verticalement, horizontalement ou avec une inclinaison selon les prescriptions du Comité d'Études concerné et il convient que sa position soit telle que le jet le plus bas soit au moins 0,6 m au-dessus du sol.

B.2 Méthode d'application et d'humidification de la couche solide

B.2.1 Préparation du produit à déposer

On doit utiliser une suspension préparée suivant une des deux compositions suivantes :

- a) — 100 g de Kieselgur (terres d'unfusoires, diatomées),
 - 10 g de bioxyde de silicium très dispersé, dimensions des particules 2–20 μm ,
 - 1000 g d'eau déminéralisée.

Appendix B: Pollution Test Procedures

B.1 Production of salt fog

B.1.1 Preparation of salt solution

The salt solution should be made to the required salinity from salt (NaCl of commercial purity) and ordinary tap water. The concentration should be within $\pm 5\%$ of one of the following values: 2,5 g, 3,5 g, 5 g, 7 g, 10 g, 14 g, 20 g, 28 g, 40 g, 56 g, 80 g, 112 g, 160 g or 224 g per litre of solution.

The concentration may be determined by measuring the resistivity or the density of the salt solution. Figures 16 and 17 give the values of the resistivity and the density, respectively, as functions of the salt concentration at 10°C, 20°C and 30°C.

B.1.2 Details of spraying system

The fog is produced in a test chamber by means of a number of jets as shown in figure 18 and described in detail below. Each jet has two nozzles, one acting as an air outlet and the other as an outlet for the salt solution. The compressed air thus flows across the solution nozzle and produces a fine mist of the solution.

The air nozzles should be provided with filtered, oil-free air at 700 kPa above the atmospheric pressure, with a tolerance of $\pm 4\%$. The solution nozzles should be supplied with the specified salt solution at a pressure adjusted so that the flow of the solution through each nozzle, is 0,5 L/min $\pm 10\%$ for the period of the test; the tolerance on the total flow to all spray jets is $\pm 5\%$ of the nominal value. Consequently, the solution pressure must also be kept constant throughout a test.

The jets are mounted 0,6 m apart in two straight rows, parallel to the centre line of the test object (one on each side), each row being 3 m from it and in the same plane, with the jets in each row directed towards one another. Each row should be extended at least 0,6 m beyond the ends of the insulating section of the test object; the latter is mounted vertically, horizontally or inclined as prescribed by the relevant Technical Committee, but should be so placed that the lowest jet is at least 0,6 m above the floor.

B.2 Pre-deposition of pollution, coating and wetting procedure

B.2.1 Preparation of coating material

One of the two following compositions of the suspension should be used:

- a) — 100 g Kieselgur (diatomaceous earth, Diatomite),
 - 10 g highly-dispersed silicon dioxide, particle size 2–20 μm ,
 - 1000 g demineralized water

La conductivité volumique de la suspension sera réglée grâce à l'addition d'une quantité adéquate de sel (NaCl) afin d'obtenir une des valeurs spécifiées du tableau suivant pour la conductivité de référence de la couche. La suspension ainsi préparée sera appliquée à la surface de l'objet pour constituer une couche d'épaisseur appropriée présentant la conductivité de référence.

Conductivité de la référence à 20°C en μS (tolérance : $\pm 15\%$)	7,5	10	15	20	30	40	60	80
Valeurs correspondantes de la conductivité volumique de la suspension préparée à 20°C en mS/cm	2,25	3,0	4,5	6,0	9,0	12,0	18,0	24,0

b) — 40 g de Kaolin ou de Tonoko

—1000 g d'eau déminéralisée

La conductivité volumique de la suspension sera réglée grâce à l'addition d'une quantité adéquate de sel (NaCl) afin d'obtenir la densité requise de dépôt de sel de référence.

La suspension sera alors appliquée à la surface de l'objet en essai pour constituer une couche d'épaisseur présentant la densité de dépôt de sel de référence.

B.2.2 Principales caractéristiques des matériaux inertes

Le tableau suivant donne les gammes de valeurs des principales caractéristiques des matériaux inertes de type Kieselgur, Kaolin ou Tonoko que l'on peut utiliser dans les suspensions.

Matériau inerte	Composition en poids en % de				Granulométrie en μm (distribution cumulée)			Conductivité volumique à 20°C en $\mu\text{S/cm}$
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	H_2O	16 %	50 %	84 %	
Kieselgur	70–90	5–25	0,5–6	7–14	0,1–0,2	0,4–1	2–10	15–200
Kaolin	40–50	30–40	0,3–2	7–14	0,1–0,2	0,4–1	2–10	15–200
Tonoko	60–70	10–20	4–8	—	0,8–1,5	3–5	8–15	20–100

B.2.3 Procédure d'application du revêtement et d'humidification

La suspension peut être déposée sur la surface propre de l'objet en essai en l'immergeant, en l'aspergeant ou par le procédé de pollution liquide prédéposée. La couche résultante doit être aussi répartie uniformément que possible sur toute la surface isolante de l'objet en essai.

The volume conductivity of the suspension shall be adjusted by adding a suitable amount of salt (NaCl) to obtain the value chosen from those of the following table, corresponding to the requested reference layer conductivity. The suspension so formed then shall be applied to the surface of the insulator to produce a layer of appropriate thickness that achieves the reference conductivity.

Reference layer conductivity at 20°C in μS (tolerance: $\pm 15\%$)	7,5	10	15	20	30	40	60	80
Corresponding volume conductivity values of the prepared suspension at 20°C in mS/cm	2,25	3,0	4,5	6,0	9,0	12,0	18,0	24,0

b) — 40 g Kaolin or Tonoko

— 1000 g demineralized water

The volume conductivity of the suspension shall be adjusted by adding a suitable amount of salt (NaCl) to obtain the requested reference salt deposit density.

The suspension then shall be applied to the surface of the insulator to produce a layer of appropriate thickness that achieves the reference salt deposit density.

B.2.2 Main characteristics of the inert materials

Ranges of values for the main characteristics of inert materials, defining the types of Kieselgur, Kaolin and Tonoko that should be used for the suspensions are given in the following table:

Inert material	Weight composition in % of				Granulometry in μm (cumulative distribution)			Volume conductivity at 20°C in $\mu\text{S/cm}$
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	H_2O	16%	50%	84%	
Kieselgur	70–90	5–25	0,5–6	7–14	0,1–0,2	0,4–1	2–10	15–200
Kaolin	40–50	30–40	0,3–2	7–14	0,1–0,2	0,4–1	2–10	15–200
Tonoko	60–70	10–20	4–8	—	0,8–1,5	3–5	8–15	20–100

B.2.3 Solid coating and wetting procedure

The suspension may be deposited on the clean surface of the test object by dipping, spraying or flow-coating. The resulting layer should be uniformly distributed as far as possible over the whole of the insulating surface of the test object.