

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 60-2

Première édition — First edition

1973

Techniques des essais à haute tension

Deuxième partie : Modalités d'essais

High-voltage test techniques

Part 2: Test procedures



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

Révision de la présente publication

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

Les renseignements relatifs à ce travail de révision, à l'établissement des éditions révisées et aux mises à jour peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et en consultant les documents ci-dessous :

- **Bulletin de la CEI**
Publié trimestriellement
- **Rapport d'activité de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement

Terminologie utilisée dans la présente publication

Seuls sont définis ici les termes spéciaux se rapportant à la présente publication.

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la Publication 50 de la CEI: Vocabulaire Electrotechnique International (V.E.I.), qui est établie sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini, l'index général étant publié séparément. Des détails complets sur le V.E.I. peuvent être obtenus sur demande.

Symboles graphiques et littéraux

Seuls les symboles graphiques et littéraux spéciaux sont inclus dans la présente publication.

Le recueil complet des symboles graphiques approuvés par la CEI fait l'objet de la Publication 117 de la CEI.

Les symboles littéraux et autres signes approuvés par la CEI font l'objet de la Publication 27 de la CEI.

Autres publications de la CEI établies par le même Comité d'Etudes

L'attention du lecteur est attirée sur la page 3 de la couverture, qui énumère les autres publications de la CEI préparées par le Comité d'Etudes qui a établi la présente publication.

Revision of this publication

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

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

- **IEC Bulletin**
Published quarterly
- **Report on IEC Activities**
Published yearly
- **Catalogue of IEC Publications**
Published yearly

Terminology used in this publication

Only special terms required for the purpose of this publication are defined herein.

For general terminology, readers are referred to IEC Publication 50: International Electrotechnical Vocabulary (I.E.V.), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field, the General Index being published as a separate booklet. Full details of the I.E.V. will be supplied on request.

Graphical and letter symbols

Only special graphical and letter symbols are included in this publication.

The complete series of graphical symbols approved by the IEC is given in IEC Publication 117.

Letter symbols and other signs approved by the IEC are contained in IEC Publication 27.

Other IEC publications prepared by the same Technical Committee

The attention of readers is drawn to the inside of the back cover, which lists other IEC publications issued by the Technical Committee which has prepared the present publication.

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 60-2

Première édition — First edition

1973

Techniques des essais à haute tension

Deuxième partie : Modalités d'essais

High-voltage test techniques

Part 2: Test procedures



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	6
PRÉFACE	6
SECTION UN — GÉNÉRALITÉS	
Articles	
1. Domaine d'application	8
2. Objet	8
SECTION DEUX — ESSAIS EN TENSION CONTINUE	
3. Définitions concernant les essais en tension continue	8
3.1 Ondulation	8
3.2 Valeur de la tension d'essai	8
4. Tension d'essai	10
4.1 Prescriptions relatives à la tension d'essai	10
4.2 Production de la tension d'essai	10
4.3 Mesure de la tension d'essai	10
4.4 Mesure du courant d'essai	12
5. Modalités d'essai	12
5.1 Essais de tension de tenue nominale	12
5.2 Essais de tension de décharge disruptive assurée	14
SECTION TROIS — ESSAIS EN TENSION ALTERNATIVE	
6. Définitions concernant les essais en tension alternative	14
6.1 Valeur de crête	14
6.2 Valeur efficace	14
6.3 Valeur de la tension d'essai	14
7. Tension d'essai	14
7.1 Prescriptions relatives à la tension d'essai	14
7.2 Production de la tension d'essai	16
7.3 Mesure de la tension d'essai	18
8. Modalités d'essai	18
8.1 Essais de tension de tenue nominale	18
8.2 Essais de tension de décharge disruptive assurée	20
SECTION QUATRE — ESSAIS EN TENSION DE CHOC DE FOUDRE	
9. Définitions concernant les essais aux chocs de foudre	20
9.1 Définitions d'application générale	20
9.2 Définitions propres aux tensions de choc coupées	22
9.3 Courbes tension/durée	24
10. Tension d'essai	24
10.1 Choc de foudre normal	24
10.2 Tolérances	24
10.3 Choc de foudre coupé normal	24
10.4 Production de la tension d'essai	26
10.5 Mesure de la tension d'essai, détermination de la forme du choc	26

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7
PREFACE	7
SECTION ONE — GENERAL	
Clause	
1. Scope	9
2. Object	9
SECTION TWO — TESTS WITH DIRECT VOLTAGE	
3. Definitions for direct voltage tests	9
3.1 Ripple	9
3.2 Value of test voltage	9
4. Test voltage	11
4.1 Requirements for the test voltage	11
4.2 Generation of the test voltage	11
4.3 Measurement of the test voltage	11
4.4 Measurement of the test current	13
5. Test procedures	13
5.1 Rated withstand voltage tests	13
5.2 Assured disruptive discharge voltage tests	15
SECTION THREE — TESTS WITH ALTERNATING VOLTAGE	
6. Definitions for alternating voltage tests	15
6.1 Peak value	15
6.2 R.M.S. value	15
6.3 Value of the test voltage	15
7. Test voltage	15
7.1 Requirements for the test voltage	15
7.2 Generation of the test voltage	17
7.3 Measurement of the test voltage	19
8. Test procedures	19
8.1 Rated withstand voltage tests	19
8.2 Assured disruptive discharge voltage tests	21
SECTION FOUR — TESTS WITH LIGHTNING IMPULSE VOLTAGES	
9. Definitions for lightning impulse tests	21
9.1 Definitions of general applicability	21
9.2 Definitions applicable only to chopped impulses	23
9.3 Voltage/time curves	25
10. Test voltage	25
10.1 Standard lightning impulse	25
10.2 Tolerances	25
10.3 Standard chopped lightning impulse	25
10.4 Generation of the test voltage	27
10.5 Measurement of the test voltage, determination of impulse shape	27

Articles	Pages
11. Modalités d'essai	26
11.1 Essais de tenue nominale	28
11.2 Essais de tension de décharge disruptive à 50%	28
11.3 Essai de tension de décharge disruptive assurée	30
11.4 Détermination de tension correspondant à des probabilités de décharge disruptive très faible ou très élevée	30

SECTION CINQ — ESSAIS EN TENSION DE CHOC DE MANŒUVRES

12. Définitions concernant les essais aux chocs de manœuvres	30
12.1 Choc de manœuvres	30
12.2 Valeur de la tension d'essai	30
12.3 Durée jusqu'à la crête T_{cr}	32
12.4 Durée conventionnelle jusqu'à la mi-valeur T_2	32
12.5 Durée au-dessus de 90% T_d	32
12.6 Durée jusqu'à la coupure T_c	32
12.7 Choc ayant un front linéaire coupé	32
13. Tension d'essai	32
13.1 Choc de manœuvres normal	32
13.2 Chocs spéciaux	32
13.3 Tolérances	32
13.4 Production de la tension d'essai	34
13.5 Mesure de la tension d'essai, détermination de la forme de choc	34
14. Modalités d'essai	34

SECTION SIX — ESSAIS AUX CHOC DE COURANT

15. Définitions concernant les essais aux chocs de courant	34
15.1 Chocs de courant	34
15.2 Valeur du courant d'essai	36
15.3 Durée conventionnelle du front T_1	36
15.4 Origine conventionnelle O_1	36
15.5 Durée conventionnelle jusqu'à la mi-valeur T_2	36
15.6 Durée conventionnelle de la crête d'un choc de courant rectangulaire	36
15.7 Durée conventionnelle totale d'un choc de courant rectangulaire	36
16. Courant d'essai	36
16.1 Chocs de courant normaux	36
16.2 Tolérances	38
16.3 Mesure du courant d'essai	38
16.4 Mesure de la tension pendant les essais de courants de choc	38

ANNEXE A — Traitement statistique des résultats d'essais	40
--	----

FIGURES.	48
------------------	----

Clause	Page
11. Test procedures	27
11.1 Rated withstand voltage tests	29
11.2 50% disruptive discharge voltage tests	29
11.3 Assured disruptive discharge voltage test	31
11.4 Determination of voltages corresponding to very low or very high disruptive discharge probabilities	31

SECTION FIVE — TESTS WITH SWITCHING IMPULSE VOLTAGES

12. Definitions for switching impulse tests	31
12.1 Switching impulse	31
12.2 Value of the test voltage	31
12.3 Time to crest T_{cr}	33
12.4 Virtual time to half-value T_2	33
12.5 Time above 90% T_d	33
12.6 Time to chopping T_c	33
12.7 Linearly rising front chopped impulse	33
13. Test voltage	33
13.1 Standard switching impulse	33
13.2 Special impulses	33
13.3 Tolerances	33
13.4 Generation of the test voltage	35
13.5 Measurement of the test voltage, determination of impulse shape	35
14. Test procedures	35

SECTION SIX — TESTS WITH IMPULSE CURRENTS

15. Definitions for impulse current tests	35
15.1 Impulse currents	35
15.2 Value of the test current	37
15.3 Virtual front time T_1	37
15.4 Virtual origin O_1	37
15.5 Virtual time to half-value T_2	37
15.6 Virtual duration of peak of a rectangular impulse current	37
15.7 Virtual total duration of a rectangular impulse current	37
16. Test current	37
16.1 Standard impulse currents	37
16.2 Tolerances	39
16.3 Measurement of the test current	39
16.4 Measurement of voltage during tests with impulse currents	39

APPENDIX A — Statistical evaluation of test results	41
---	----

FIGURES	48
-------------------	----

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TECHNIQUES DES ESSAIS À HAUTE TENSION

Deuxième partie: Modalités d'essais

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes 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 recommandation a été établie par le Comité d'Etudes N° 42 de la CEI: Technique des essais à haute tension.

Elle constitue la révision de la partie de la Publication 60 de la CEI, 1962, qui traite de la technique des essais sous tension continue et tension alternative, avec chocs de foudre et de manœuvres et courants de choc. Elle remplace, plus particulièrement, les sections quatre, cinq, six et sept de la Publication 60 de la CEI, 1962. Un autre document: Dispositifs de mesure approuvés, couvrant la section huit et l'annexe de la Publication 60 de la CEI, 1962, est en cours de préparation avec un guide d'application.

A une réunion tenue à Bucarest en 1962, une discussion générale avait eu lieu au sujet des modifications et additifs à prévoir pour la Publication 60 de la CEI, alors en cours d'impression. Il en résulta des projets qui furent diffusés et discutés à Aix-les-Bains en 1964, à Tokyo en 1965 et à Londres en 1968. A la suite de cette dernière réunion, un projet définitif, document 42(Bureau Central)15, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en juin 1970. En raison des votes négatifs émis par le Canada et la France, un projet révisé, documents 42(Bureau Central)20 et 42(Bureau Central)20A, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Procédure des Deux Mois en janvier et mars 1972. Par ces démarches successives, les votes négatifs du Canada et de la France furent éliminés.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

Afrique du Sud (République d')	Japon
Allemagne	Norvège
Australie	Pays-Bas
Autriche	Pologne
Belgique	Portugal
Brésil	Roumanie
Canada	Royaume-Uni
Danemark	Suède
Etats-Unis d'Amérique	Suisse
Finlande	Tchécoslovaquie
France	Turquie
Hongrie	Union des Républiques
Israël	Socialistes Soviétiques
Italie	Yougoslavie

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

HIGH-VOLTAGE TEST TECHNIQUES

Part 2: Test procedures

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 dealt with.
- 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 recommendations and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

This recommendation has been prepared by IEC Technical Committee No. 42, High-voltage Testing Techniques.

It constitutes a revision of that part of IEC Publication 60, 1962, which deals with the technique of tests with direct and alternating voltage, with lightning and switching impulses and with impulse currents. More specifically, it replaces Sections Four, Five, Six and Seven of IEC Publication 60, 1962. Another document: Approved Measuring Devices, covering Section Eight and the Appendix of IEC Publication 60, 1962, is under preparation together with an Application Guide.

During a meeting held in Bucharest in 1962, a general discussion was held concerning what modifications and addenda were foreseen for the IEC Publication 60, then under printing. Subsequent drafts were circulated and discussed in Aix-les-Bains in 1964, in Tokyo in 1965 and in London in 1968. As a result of this latter meeting, a final draft, document 42(Central Office)15, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in June 1970. Due to negative votes from Canada and France, a revised draft, documents 42(Central Office)20 and 42(Central Office)20A, was submitted to the National Committees for approval under the Two Months' Procedure in January and March 1972. By these successive procedures, the negative votes from Canada and France were eliminated.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Netherlands
Austria	Norway
Belgium	Poland
Brazil	Portugal
Canada	Romania
Czechoslovakia	South Africa (Republic of)
Denmark	Sweden
Finland	Switzerland
France	Turkey
Germany	Union of Soviet
Hungary	Socialist Republics
Israel	United Kingdom
Italy	United States of America
Japan	Yugoslavia

TECHNIQUES DES ESSAIS À HAUTE TENSION

Deuxième partie: Modalités d'essais

SECTION UN — GÉNÉRALITÉS

1. Domaine d'application

La présente recommandation 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.

2. Objet

L'objet de la présente recommandation est:

- de définir les termes particuliers qui s'appliquent aux essais ci-dessus;
- de décrire les méthodes pour produire et mesurer les tensions et les courants d'essai;
- de décrire les méthodes d'essai;
- de décrire les méthodes d'interprétation des résultats d'essais et indiquer les critères d'acceptation ou de refus.

Les définitions d'emploi général, les prescriptions relatives à l'objet en essai et les modalités d'essais d'emploi général sont données dans la Publication 60-1 de la CEI: Techniques des essais à haute tension, Première partie: Définitions et prescriptions générales relatives aux essais. Les prescriptions relatives aux appareils de mesures approuvés et les méthodes de contrôle seront données dans la future Publication 60-3 de la CEI et dans un guide d'application (révision de la section huit et de l'annexe de la Publication 60 de la CEI).

SECTION DEUX — ESSAIS EN TENSION CONTINUE

3. Définitions concernant les essais en tension continue

3.1 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.

3.2 Valeur de la tension d'essai

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

HIGH-VOLTAGE TEST TECHNIQUES

Part 2: Test procedures

SECTION ONE — GENERAL

1. Scope

This recommendation is applicable to:

- dielectric tests with direct voltage;
- dielectric tests with alternating voltage;
- dielectric tests with impulse voltage;
- tests with impulse current.

2. Object

The object of this recommendation is:

- to define terms specifically relating to the above tests;
- to describe methods for generation and measurement of test voltages and currents;
- to describe test methods;
- to describe methods for the evaluation of test results and to indicate criteria for acceptance or refusal.

Definitions of general applicability, general requirements regarding test objects, and test procedures of general applicability are given in IEC Publication 60-1, High-voltage Test Techniques, Part 1: General Definitions and Test Requirements. Requirements concerning approved measuring devices and checking methods will be given in the future IEC Publication 60-3 and in an Application Guide (revision of Section Eight and of the Appendix of IEC Publication 60).

SECTION TWO — TESTS WITH DIRECT VOLTAGE

3. Definitions for direct voltage tests

3.1 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.

3.2 Value of the test voltage

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

4. Tension d'essai

4.1 Prescriptions relatives à la tension d'essai

La tension d'essai devra être, lorsqu'elle sera appliquée à l'objet en essai, une tension continue avec un facteur d'ondulation inférieur ou égal à 5% sauf spécification contraire du Comité d'Etudes intéressé. Noter que la présence de l'objet en essai peut affecter le facteur d'ondulation.

4.2 Production de la tension d'essai

La tension d'essai est généralement produite au moyen de redresseurs, mais parfois par des générateurs électrostatiques. Les prescriptions relatives à la source de tension d'essai dépendent beaucoup du genre d'appareil qui doit être essayé 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 dont les principales composantes sont indiquées au paragraphe 4.4.

La valeur du courant nominal qui définit la source devra être suffisante pour charger la capacité de l'objet en essai dans un temps raisonnablement court. Dans le cas d'objets ayant une forte capacité, des temps de charge de plusieurs minutes doivent quelquefois être acceptés. La source comprenant la capacité de filtrage devra également être capable de fournir les courants de fuite et d'absorption ainsi que tous courants résultant de décharges partielles internes et externes, sans entraîner une chute de tension excessive qui pourrait influencer les résultats d'essai. Dans les essais sur isolation interne, ces courants sont généralement faibles, mais lorsqu'il s'agit d'essayer des isolateurs sous pluie, des courants de fuite de l'ordre de quelques dizaines de milliampères ou des prédécharges impulsives de l'ordre de 10^{-2} coulomb peuvent être observés occasionnellement.

Pour les essais sur isolateurs pollués, des circuits spéciaux délivrant des courants de sortie importants sont nécessaires. Provisoirement, il est recommandé de choisir une source telle que, si des impulsions de courant de 500 mA sont appelées pendant une durée de 500 ms, la chute de tension au cours de chaque impulsion ou une séquence d'impulsions n'excède pas 5% lorsque la fréquence de répétition est de une par seconde.

4.3 Mesure de la tension d'essai

4.3.1 Mesure avec des dispositifs approuvés par la Publication 60 de la CEI

La mesure 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, doit en général être faite au moyen de dispositifs qui ont satisfait aux essais d'approbation indiqués dans la Publication 60 de la CEI: Essais à haute tension. L'attention est attirée sur les prescriptions relatives aux caractéristiques de la réponse des dispositifs de mesure utilisés pour mesurer l'ondulation et les grandeurs transitoires.

4.3.2 Mesure au moyen d'un éclateur à sphères, en conformité avec la Publication 52 de la CEI, 1960

Seule la mesure de la valeur de crête de la tension d'essai peut être faite au moyen d'un éclateur à sphères. Le mode opératoire consiste habituellement à établir une relation entre l'écartement auquel les décharges disruptives apparaissent et une autre variable du circuit liée à la tension d'essai, voir la Publication 52 de la CEI (1960): Recommandations pour la mesure des tensions au moyen d'éclateurs à sphères (une sphère à la terre). (La relation entre la tension d'alimentation et la tension de sortie peut ne pas être suffisamment constante pour les besoins de la mesure.)

La relation peut dépendre de la présence de l'objet en essai et de celle de l'éclateur à sphères, de l'aspersion dans le cas des essais sous pluie, 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. L'attention est attirée aussi sur la possibilité d'obtenir des mesures erratiques de l'éclateur à sphères, en tension continue, par suite de pollution dans l'atmosphère.

4. Test voltage

4.1 Requirements for the test voltage

The test voltage, as applied to the test object, should be a direct voltage with not more than 5% ripple factor, unless otherwise specified by the relevant Technical Committee. Note that the presence of the test object may affect the ripple factor.

4.2 Generation of the test voltage

The test voltage is generally obtained by means of rectifiers, but sometimes by electrostatic generators. The requirements to be met by the test voltage source depend considerably upon the type of apparatus which shall be tested and on the test conditions. These requirements are determined mainly by the values and nature of the test current to be supplied, the important constituents of which are indicated in Sub-clause 4.4.

The output current rating of the source should be sufficient to charge 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, however, sometimes be accepted. The source, including the storage capacitance, should also be adequate to supply the leakage and absorption currents and any internal and external partial discharge currents without excessive voltage drops which might influence the test results. 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 10^{-2} coulomb may occasionally be encountered.

For tests on polluted insulators, special circuits giving large output currents are necessary. Provisionally, it is recommended that the source should be such that when a pulse current of 500 mA is drawn for a duration of 500 ms the voltage drop during each pulse or a sequence of pulses should not exceed 5% when the repetition rate is once per second.

4.3 Measurement of the test voltage

4.3.1 Measurement with devices approved under IEC Publication 60

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, High-voltage Test Techniques. Attention is drawn to the requirements on response characteristics of devices used for measuring ripple or transients.

4.3.2 Measurement with a sphere-gap, in accordance with IEC Publication 52, 1960

The measurement only of the maximum value of the test voltage can be made with a sphere-gap. The procedure usually consists in establishing a relationship between the spacing at which disruptive discharges occur and some other circuit variable related to the test voltage, see IEC Publication 52 (1960), Recommendations for Voltage Measurement by Means of Sphere-gaps (one sphere earthed). (The relationship between the supply voltage and the output voltage may not be sufficiently stable for measuring purposes.)

The 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 sphere-gap calibration and the actual test, except that during the test, the sphere-gap may be opened sufficiently to prevent sparkover. Attention is drawn also to the possibility of erratic sphere-gap measurements with direct voltage due to pollution in the atmosphere.

L'étalonnage est exécuté de préférence à 100% de la valeur de la tension d'essai, mais pour les essais sur objets comportant des isolations non autorégénératrices, on pourra procéder par extrapolation à partir d'une valeur non inférieure à 80% de la tension d'essai. L'extrapolation peut être douteuse si le courant du circuit d'essai n'est pas proportionnel à la tension appliquée.

4.4 *Mesure du courant d'essai*

Lorsque des mesures du courant traversant l'objet en essai sont exécutées, plusieurs composantes peuvent être distinguées qui 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 qu'elle contient;
- le courant d'absorption diélectrique dû au lent déplacement de charges au sein de l'isolation et qui peuvent durer de quelques secondes à plusieurs heures. Ce phénomène est en partie réversible; des courants de polarité opposée pouvant être observés lorsque l'objet en essai est déchargé et court-circuité;
- le courant de fuite permanent qui est la valeur finale du courant continu obtenue à tension appliquée constante lorsque les composantes précédentes ont déca jusqu'à zéro;
- les courants de décharges partielles.

La mesure des trois premières composantes nécessite l'emploi d'appareils couvrant une grande gamme d'amplitudes de courant. Il est important de s'assurer que l'instrument ou la mesure de l'une quelconque des composantes du courant n'est pas affectée par les autres composantes. Il est parfois possible de déduire des informations concernant le comportement de l'isolation pendant des essais non destructifs à partir de l'allure de la variation dans le temps du courant observé.

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 devront être précisées par le Comité d'Etudes intéressé, en particulier quand on désire distinguer une composante particulière.

Les mesures d'impulsions de courant, provoquées par les décharges partielles, sont exécutées à l'aide d'instruments spéciaux dont il est question dans la Publication 270 de la CEI (1968): Mesure des décharges partielles.

5. **Modalités d'essai**

La tension de décharge disruptive d'un objet en essai est soumise à des variations statistiques. Quelques conseils concernant les méthodes pour déterminer les tensions donnant une probabilité de décharge disruptive spécifiée sont présentées à l'annexe A.

5.1 *Essais de tension de tenue nominale*

La tension devra 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. Elle devra croître assez lentement pour permettre une lecture précise des instruments, mais sans qu'il en résulte pour autant une prolongation inutile de la contrainte de l'objet en essai au voisinage de la tension d'essai. Ces spécifications sont généralement remplies lorsque la rapidité de montée en tension au-dessus de 75% de sa valeur finale estimée est d'environ 2% de cette valeur par seconde. Elle devra être maintenue pendant le temps spécifié puis diminuée en déchargeant le condensateur de lissage à travers une résistance appropriée. Les exigences de l'essai sont en général satisfaites si aucune décharge disruptive ne se produit sur l'objet en essai.

La polarité de la tension ou l'ordre dans lequel les tensions de chaque polarité sont appliquées et toute variation demandée par rapport aux spécifications ci-dessus devront être spécifiées par le Comité d'Etudes intéressé.

The calibration is preferably made at 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 80% of this voltage. Extrapolation may be unsatisfactory if the current in the test circuit varies non-linearly with the applied voltage.

4.4 *Measurement of the test current*

When measurements of current through the test object are made, a number of separate components may be recognized which 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 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. From the observed current variation with time, in non-destructive tests, information may sometimes be obtained concerning the condition of the insulation.

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 (1968), Partial Discharge Measurements.

5. **Test procedures**

The disruptive discharge voltage of a test object is subject to statistical variations. Some guidance on methods for determining voltages giving a specified disruptive discharge probability is presented in Appendix A.

5.1 *Rated withstand voltage tests*

The voltage should 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 accurate reading of the instruments, but not so slowly as to cause unnecessary prolongation of stressing of the test object near to the test voltage. These requirements are in general met if the rate of rise above 75% of the estimated final voltage is about 2% per second of this voltage. It should be maintained for the specified time and then reduced by discharging the smoothing capacitor through a suitable resistor. The requirements of the test are generally satisfied if no disruptive discharge occurs on the test object.

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

5.2 Essais de tension de décharge disruptive assurés

La tension devra être appliquée et accrue de la manière décrite au paragraphe 5.1 jusqu'à l'apparition d'une décharge disruptive sur l'objet en essai. La valeur de la tension d'essai atteinte juste avant la décharge disruptive devra être enregistrée. Les exigences de l'essai sont en général satisfaites si cette tension n'est pas supérieure à la tension de décharge disruptive assurée dans chacune des applications de tension spécifiée.

SECTION TROIS — ESSAIS EN TENSION ALTERNATIVE

6. Définitions concernant les essais en tension alternative

6.1 Valeur de crête

La valeur de crête d'une tension alternative est la plus grande valeur instantanée sans tenir compte des petites oscillations à haute fréquence apparaissant par exemple s'il y a des décharges partielles dans le circuit.

6.2 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.

6.3 Valeur de la tension d'essai

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

Note. — Le Comité d'Etudes intéressé peut demander la mesure de la valeur efficace à la place de la valeur de crête dans les cas où c'est la valeur efficace qui est déterminante. C'est le cas par exemple lorsque des effets thermiques sont étudiés.

7. Tension d'essai

7.1 Prescriptions relatives à la tension d'essai

La tension d'essai devra être une tension alternative de fréquence généralement comprise dans la gamme 40 Hz à 62 Hz. Des essais spéciaux peuvent demander des fréquences très inférieures ou très supérieures à cette gamme ainsi que spécifié par un Comité d'Etudes.

La forme de la tension devra être voisine de celle d'une sinusoïde avec ses deux alternances sensiblement identiques et ayant un rapport entre la valeur de crête et la valeur efficace égal à $\sqrt{2}$ à $\pm 5\%$ près. Les résultats d'un essai haute tension sont réputés non affectés par les écarts de la tension par rapport à la forme sinusoïdale si ces conditions sont respectées.

Il n'existe pas d'informations suffisantes permettant de savoir si ces exigences sont généralement respectées par les circuits d'essais d'usage courant; c'est pourquoi pour certains circuits ou objets en essai des écarts plus grands devront parfois être acceptés. Noter que la présence de l'objet en essai, surtout s'il comporte des caractéristiques d'impédance non linéaires, 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.

5.2 Assured disruptive discharge voltage tests

The voltage should be applied and raised in the manner described in Sub-clause 5.1 until a disruptive discharge occurs on the test object. The value of the test voltage reached just prior to the disruptive discharge should 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.

SECTION THREE — TESTS WITH ALTERNATING VOLTAGE

6. Definitions for alternating voltage tests

6.1 Peak value

The peak value of an alternating voltage is the maximum value, except that small high-frequency oscillations arising for instance from partial discharges, are disregarded.

6.2 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.

6.3 Value of the test voltage

The value of the test voltage is defined by 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. Such cases are for instance when thermal effects are under investigation.

7. Test voltage

7.1 Requirements for the test voltage

The test voltage should be an alternating voltage generally having a frequency in the range 40 Hz to 62 Hz. Special tests may be required at frequencies considerably below or above this range, as specified by a Technical Committee.

The voltage shape shall approximate to a sinusoid with both half-cycles closely alike and shall have a ratio of peak to r.m.s. values equal to $\sqrt{2}$ within $\pm 5\%$. The results of a high-voltage test are thought to be unaffected by deviations from a sinusoid if these requirements are met.

There is insufficient information available to indicate whether the above requirements are generally met by test circuits in common use; hence, for some circuits or test objects greater deviations may have to be accepted. Note that the presence of 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.

7.2 Production de la tension d'essai

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

Note. — L'attention est attirée sur l'éventualité d'un fort à-coup de tension aux bornes de l'objet en essai résultant d'une décharge disruptive temporaire. Ce phénomène peut provoquer un défaut interne, soit dans l'objet en essai, soit dans le transformateur d'essai. On peut y remédier généralement en modifiant la fréquence normale de la source ou en introduisant des éléments atténuateurs dans le circuit.

7.2.1 Prescriptions concernant le circuit d'essai avec transformateur

La tension apparaissant dans le circuit d'essai devra être suffisamment stable pour ne pas être pratiquement affectée par les variations du courant de fuite. Les décharges partielles ou les pré-décharges dans l'objet en essai ne devront pas réduire la tension d'essai à un point tel et pendant une durée telle que la mesure de la tension de décharge disruptive de l'objet en essai en soit affectée.

Cette condition est habituellement réalisée si, à la fois :

- la capacité totale de l'objet en essai y compris toute capacité additionnelle n'est pas inférieure à environ 1 000 pF;
- la valeur du courant permanent fourni par le transformateur, si l'objet en essai est court-circuité à la valeur de la tension d'essai, n'est pas inférieure à 1 A efficace.

Note. — Si une résistance de protection série externe ne dépasse pas 1 k Ω , la capacité effective vue de l'extérieur du transformateur peut être considérée comme étant en parallèle avec l'objet en essai.

Les exceptions pour la prescription relative au courant de court-circuit permanent sont :

- pour les essais à sec de petits échantillons d'une isolation solide, des liquides isolants ou des combinaisons des deux, un courant de court-circuit de 0,1 A efficace peut suffire;
- pour les essais sous pollution artificielle, le courant de court-circuit demandé dépend du rapport entre la résistance série R_s et la réactance en régime établi X_s de la source de tension, comprenant le générateur ou le réseau d'alimentation à la fréquence d'essai, ainsi que l'indique le tableau I ci-dessous.

TABLEAU I

R_s/X_s	Courant de court-circuit A efficace
$< 0,1$	≥ 6
0,1-0,2	≥ 8
0,2-0,3	≥ 12

Si le rapport R_s/X_s est plus grand que 0,3, des valeurs du courant de court-circuit supérieures à 12 A peuvent être nécessaires.

7.2.2 Circuit série résonant

Le circuit série résonant se constitue essentiellement par un objet ou une charge capacitive en série avec une inductance variable et connectée à une source d'énergie à moyenne tension. En faisant varier l'inductance, on peut accorder la résonance de ce circuit sur la fréquence d'alimentation, de sorte qu'une tension de plus grande amplitude et de forme très voisine de celle d'une sinusoïde soit appliquée à l'objet en essai. La stabilité des conditions de résonance et la tension d'essai dépendent de la constance de la fréquence d'alimentation et des impédances du circuit d'essai.

7.2 Generation of the test voltage

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

Note. — Attention is drawn to the possibility that non-sustained disruptive discharges may cause large over swings 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.

7.2.1 Requirements for the transformer test circuit

The voltage in the test circuit should be stable enough to be practically unaffected by varying leakage currents. Partial discharges, or pre-discharges in the test object, should 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 affected.

This is usually achieved if, simultaneously:

- the total capacitance of the test object and any additional capacitor is not less than about 1 000 pF;
- the steady-state current delivered by the transformer, if the test object is short-circuited at the test voltage, is not less than 1 A r.m.s.

Note. — If any external protective series resistance does not exceed 1 k Ω , the effective terminal capacitance of the transformer may be regarded as being in parallel with the test object.

Exceptions for the requirement on steady-state short-circuit current are:

- 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. may suffice;
- for tests under artificial pollution, the required short-circuit current depends on the ratio of series resistance R_s to the steady-state reactance X_s of the voltage source, including the generator or supply network at the test frequency, as indicated by Table I below.

TABLE I

R_s/X_s	Short-circuit current A r.m.s.
< 0.1	≥ 6
0.1-0.2	≥ 8
0.2-0.3	≥ 12

If the ratio R_s/X_s is greater than 0.3, higher values of short-circuit current than 12 A may be necessary.

7.2.2 The series resonant circuit

The series resonant circuit consists essentially of a capacitive test object or load in series with a variable inductance, connected to a medium voltage power source. By varying the inductance the circuit can be tuned to resonance at the supply frequency, 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 supply frequency and of the test circuit impedances.

Le circuit série résonant est particulièrement commode pour essayer des objets tels que condensateurs ou échantillons de câbles pour lesquels les courants de fuite sur l'isolation externe sont très faibles devant le courant capacitif de l'objet en essai. Ce type de circuit peut être inutilisable si les conditions de résonance sont troublées par des courants de fuite non linéaires ou par des décharges, par exemple dans les essais sur isolations externes sous des conditions de pluie ou sous pollution.

7.3 *Mesure de la tension d'essai*

7.3.1 *Mesure avec des dispositifs approuvés par la Publication 60 de la CEI*

La mesure de la valeur de crête, de la valeur efficace et de l'écart par rapport à une sinusoïde devra, en général, être faite au moyen de dispositifs qui ont satisfait aux essais d'approbation indiqués dans la Publication 60 de la CEI (en cours de révision).

7.3.2 *Mesure au moyen d'un éclateur à sphères, en conformité avec la Publication 52 de la CEI, 1960*

Seule la mesure de la valeur de crête de la tension d'essai peut être faite au moyen d'un éclateur à sphères. Le mode opératoire consiste habituellement à établir une relation entre l'écartement auquel les décharges disruptives apparaissent et une autre variable du circuit liée à la tension d'essai; voir la Publication 52 de la CEI, 1960. (La relation entre la tension d'alimentation et la tension appliquée peut ne pas être suffisamment constante pour les besoins de la mesure.)

La relation peut dépendre de la présence de l'objet en essai et de celle de l'éclateur à sphères, de l'aspersion dans le cas des essais sous pluie, 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.

L'étalonnage est exécuté de préférence à 100% de la valeur de la tension d'essai, mais pour les essais sur objets comportant des isolations non autorégénératrices, on pourra procéder par extrapolation à partir d'une valeur non inférieure à 80% de la tension d'essai. L'extrapolation peut être douteuse si le courant du circuit d'essai n'est pas proportionnel à la tension appliquée ou si des modifications de la forme ou de la fréquence interviennent entre l'étalonnage et 100% du niveau de tension.

8. **Modalités d'essai**

La tension de décharge disruptive d'un objet en essai est soumise à des variations statistiques. Quelques conseils concernant les méthodes pour déterminer les tensions donnant des probabilités de décharge disruptive spécifiées sont présentés à l'annexe A.

8.1 *Essais de tension de tenue nominale*

La tension d'essai devra être appliquée à l'objet en essai à partir d'une valeur suffisamment basse pour éviter tout effet de surtension due aux phénomènes transitoires d'enclenchement. Elle devra croître assez lentement pour permettre une lecture précise des instruments, mais sans qu'il en résulte pour autant une prolongation inutile de la contrainte de l'objet en essai au voisinage de la tension d'essai. Ces spécifications sont généralement remplies lorsque la rapidité de montée en tension au-dessus de 75% de sa valeur finale estimée est d'environ 2% de cette valeur par seconde. Elle devra être maintenue pendant le temps spécifié et ensuite abaissée rapidement mais non supprimée brutalement car ceci peut produire des surtensions de coupure causant un dommage ou produisant des résultats erratiques. Les exigences de l'essai sont en général satisfaites si aucune décharge disruptive ne se produit sur l'objet en essai.

Des différences, par rapport aux recommandations ci-dessus peuvent être spécifiées par le Comité d'Etudes intéressé.

The series resonant circuit is especially useful when testing objects such as capacitors or cables in which the leakage currents on the external insulation are very small in comparison with the capacitive currents through the test object. The circuit may be unsuitable if the resonance conditions are disturbed by non-linear leakage currents or discharges, for example in tests on external insulation under wet or polluted conditions.

7.3 *Measurement of the test voltage*

7.3.1 *Measurement with devices approved under IEC Publication 60*

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

7.3.2 *Measurement with a sphere-gap, in accordance with IEC Publication 52, 1960*

The measurement only of the peak value of the test voltage can be made with a sphere-gap. The procedure usually consists in establishing a relationship between the spacing at which disruptive discharges occur and some other circuit variable related to the test voltage; see IEC Publication 52, 1960. (The relationship between the supply voltage and the output voltage may not be sufficiently stable for measuring purposes.)

The 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 sphere-gap calibration and the actual test, except that during the test the sphere-gap may be opened sufficiently to prevent sparkover.

The calibration is preferably made at 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 80% 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 100% voltage levels.

8. **Test procedures**

The disruptive discharge voltage of a test object is subject to statistical variations. Some guidance on methods for determining voltages giving specified disruptive discharge probabilities is given in Appendix A.

8.1 *Rated withstand voltage tests*

The voltage should 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 accurate 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. These requirements are in general met if the rate of rise above 75% of the estimated final test voltage is about 2% per second of this voltage. It should 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 requirements of the test are generally satisfied if no disruptive discharge occurs on the test object.

Deviations from the above recommendation may be specified by the relevant Technical Committee.

8.2 Essais de tension de décharge disruptive assurée

La tension devra être appliquée et accrue de la manière décrite au paragraphe 8.1 jusqu'à l'apparition d'une décharge disruptive sur l'objet en essai. La valeur de la tension d'essai, atteinte juste avant la décharge disruptive, devra être enregistrée. Les exigences de l'essai sont en général satisfaites si cette tension n'est pas supérieure à la tension de décharge disruptive assurée dans chacune des applications de tension spécifiées.

SECTION QUATRE — ESSAIS EN TENSION DE CHOC DE FOUDRE

9. Définitions concernant les essais aux chocs de foudre

9.1 Définitions d'application générale

9.1.1 Choc de foudre plein

Un choc de foudre plein est un choc de foudre qui n'est pas interrompu par une décharge disruptive. Voir la Publication 60-1 de la CEI pour la définition du choc et pour la distinction entre les chocs de foudre et de manœuvres.

9.1.2 Choc de foudre coupé

Un choc de foudre coupé est un choc de foudre qui est soudainement interrompu par une décharge disruptive provoquant une brusque chute de la tension pratiquement jusqu'à zéro. 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 dans l'isolation interne ou externe de l'objet en essai.

9.1.3 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. Avec certains circuits d'essai, des oscillations ou un lancé de tension peuvent se produire sur la crête du choc, voir figures 1a-d, page 48; si la fréquence de ces oscillations n'est pas inférieure à 0,5 MHz ou si la durée du lancé de tension n'excède pas 1 μ s, une courbe moyenne peut être tracée comme représenté aux figures 1a-b, et pour le besoin de la mesure, l'amplitude maximale de cette courbe définit la valeur de la tension d'essai. Les limites admises pour l'amplitude des oscillations ou du lancé de tension, dans le cas des chocs de foudre, sont données au paragraphe 10.2.

Pour d'autres formes de choc (voir par exemple les figures 1e-h), le Comité d'Etudes intéressé devra définir la valeur de la tension d'essai en tenant compte du type d'essai et de l'objet en essai.

9.1.4 Durée conventionnelle du front T_1

La durée conventionnelle du front T_1 d'un choc de foudre est 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 2 à 4, pages 49 et 50). S'il y a des oscillations sur le front, les points A et B devront être choisis sur la courbe moyenne tracée au milieu des oscillations.

9.1.5 Origine conventionnelle O_1

L'origine conventionnelle O_1 d'un choc de foudre est l'instant qui précède d'une durée de $0,3 \times T_1$ celui correspondant au point A (figures 2 à 4). Pour les oscillogrammes à balayage linéaire, ce sera l'intersection avec l'axe des abscisses de la droite passant par les points de références A et B du front.

8.2 Assured disruptive discharge voltage tests

The voltage should be applied and raised in the manner described in Sub-clause 8.1 until a disruptive discharge occurs on the test object. The value of the test voltage reached just prior to the disruptive discharge should 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.

SECTION FOUR — TESTS WITH LIGHTNING IMPULSE VOLTAGES

9. Definitions for lightning impulse tests

9.1 Definitions of general applicability

9.1.1 Full lightning impulse

A full lightning impulse is a lightning impulse which is not interrupted by a disruptive discharge. See IEC Publication 60-1 for definition of impulse and for distinction between lightning and switching impulses.

9.1.2 Chopped lightning impulse

A chopped lightning impulse is a lightning impulse which is suddenly interrupted by a disruptive discharge causing a rapid collapse of the voltage, practically to zero value. The collapse can occur on the front, at the crest or on the tail.

Note. — The chopping can be accomplished with an external chopping gap or may occur on the internal or external insulation of a test object.

9.1.3 Value of the test voltage

The value of the test voltage is, for a smooth lightning impulse, the crest value. With some test circuits, oscillations or an overshoot may occur at the crest of the impulse, see Figures 1*a-d*, page 48; if the frequency of such oscillations is not less than 0.5 MHz or the duration of overshoot not over 1 μ s, a mean curve should be drawn as in Figures 1*a-b*, and for the purpose of measurement, the maximum amplitude of this curve defines the value of the test voltage. Permissible amplitude limits for the oscillations or overshoot, on standard lightning impulses, are given in Sub-clause 10.2.

For other impulse shapes (see for example Figures 1*e-h*, page 48), the relevant Technical Committee should define the value of the test voltage taking account of the type of test and of test object.

9.1.4 Virtual front time T_1

The virtual front time T_1 of a lightning impulse is defined as 1.67 times the time interval T between the instants when the impulse is 30% and 90% of the peak value (points A and B, Figures 2 to 4, pages 49 and 50). If oscillations are present on the front, the points A and B should be taken on the mean curve drawn through these oscillations.

9.1.5 Virtual origin O_1

The virtual origin O_1 of a lightning impulse is the instant preceding that corresponding to point A (Figures 2 to 4) by a time $0.3 \times T_1$. For oscillograms having linear time sweeps, this is the intersection with the x -axis of a straight line drawn through the reference points A and B on the front.

9.1.6 *Durée conventionnelle jusqu'à la mi-valeur T_2*

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

9.2 *Définitions propres aux tensions de choc coupées*

Généralement (mais voir la note), la coupure d'un choc est caractérisée par une discontinuité initiale réduisant la tension qui décroît alors jusqu'à zéro ou au voisinage de zéro, avec ou sans oscillations (voir figure 3, page 49, et figure 4, page 50).

Note. — Avec certains objets en 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 (paragraphe 9.2.1-9.2.5) demande alors une attention particulière, mais de tels cas ne sont pas traités dans la présente recommandation.

9.2.1 *Moment de la coupure*

Le moment de la coupure est l'instant où se produit la discontinuité initiale.

9.2.2 *Tension au moment de la coupure*

La tension au moment de la coupure est la tension à l'instant de la discontinuité initiale.

9.2.3 *Durée jusqu'à la coupure T_c*

La durée jusqu'à la coupure T_c est l'intervalle de temps compris entre l'origine conventionnelle et le moment de la coupure.

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

Les caractéristiques 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 figures 3 et 4. La durée conventionnelle de la chute de tension est de 1,67 fois l'intervalle de temps compris entre les points C et D. La raideur conventionnelle de la chute de tension est le rapport de la tension à l'instant de coupure à la durée conventionnelle 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.

9.2.5 *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 50% et 90% de l'amplitude au moment de la coupure; les intersections de cette ligne avec les amplitudes 50% et 90% sont alors désignées respectivement par les points E et F (voir figure 5, page 50).

Le choc est défini par:

- la tension au moment de la coupure;
- le temps de montée T_r . C'est l'intervalle de temps entre E et F multiplié par 2,5;
- la raideur conventionnelle S . C'est la pente de la ligne droite E-F, généralement exprimée en kV/ μ s.

Le choc est considéré comme étant approximativement linéaire si le front, depuis l'amplitude 50% jusqu'à l'instant de la coupure, est entièrement situé entre deux lignes parallèles à la ligne E-F, mais décalées d'une durée de $\pm 0,05 T_r$.

9.1.6 *Virtual time to half-value T_2*

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

9.2 *Definitions applicable only to chopped impulses*

Generally (but see note), chopping of an impulse is characterized by an initial discontinuity, decreasing the voltage, which then falls to zero or nearly to zero, with or without oscillations (see Figure 3, page 49, and Figure 4, page 50).

Note. — With some test objects or test arrangements, there may be a flattening of the crest or a rounding off of the voltage before the final voltage collapse. Similar effects may also be observed, due to imperfections of the measuring system. Exact determination of the parameters related to the chopping (Sub-clauses 9.2.1-9.2.5) then requires special consideration, but is not dealt with in this recommendation.

9.2.1 *Instant of chopping*

The instant of chopping is the instant when the initial discontinuity occurs.

9.2.2 *Voltage at the instant of chopping*

The voltage at the instant of chopping is the voltage at the instant of the initial discontinuity.

9.2.3 *Time to chopping T_c*

The time to chopping T_c is the time interval between the virtual origin and the instant of chopping.

9.2.4 *Characteristics related to the voltage collapse during chopping*

The 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 Figures 3 and 4. The virtual duration of the voltage collapse is 1.67 times the time interval between points C and D. The virtual steepness of the voltage collapse is the ratio of the voltage at the instant of chopping to the virtual 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 circuits.

9.2.5 *Linearly rising front chopped impulse*

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 of the impulse between 50% and 90% of the amplitude at the instant of chopping; the intersections of this line with the 50% and 90% amplitudes then being designated E and F respectively (see Figure 5, page 50).

The impulse is defined by:

- the voltage at the instant of chopping;
- the rise time T_r . This is the time interval between E and F multiplied by 2.5;
- the virtual steepness S . This is the slope of the straight line E-F, usually expressed in kV/ μ s.

The impulse is considered to be approximately linear if the front, from 50% amplitude up to the instant of chopping, is entirely enclosed between two lines parallel to the line E-F, but displaced from it in time by $\pm 0.05 T_r$.

9.3 Courbes tension/durée

9.3.1 Courbe tension/durée pour tensions de choc à front linéaire

La courbe tension/durée pour tensions de choc ayant un front linéaire est la courbe de la tension au moment de la coupure tracée en fonction du temps de montée de T_r . La courbe est obtenue en appliquant des chocs avec des fronts approximativement linéaires de différentes raideurs.

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

La courbe tension/durée pour tensions de choc ayant une forme présumée constante est la courbe donnant la tension de décharge disruptive d'un objet en essai en fonction de 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 différentes (voir figure 6, page 51).

10. Tension d'essai

10.1 Choc de foudre normal

Le choc de foudre normal est un choc de foudre plein ayant une durée conventionnelle du front de 1,2 μ s et une durée conventionnelle jusqu'à la mi-valeur de 50 μ s.

10.2 Tolérances

Sauf décision contraire du Comité d'Etudes intéressé, les différences suivantes sont autorisées entre les valeurs spécifiées pour les chocs normaux et celles réellement mesurées (voir note 1 et paragraphe 10.5.1).

Valeur de crête	$\pm 3\%$
Durée du front	$\pm 30\%$
Durée à mi-valeur	$\pm 20\%$

Le choc devra être essentiellement unidirectionnel, mais voir note 2.

Dans le cas de mesures correctes, les lancés de tension ou les oscillations près de la crête sont tolérés pourvu que l'amplitude du premier lancé de la première alternance soit moindre que 5% de la valeur de crête. Les oscillations sur la première partie du choc (au-dessous de 50% de la valeur de crête) sont tolérées à condition que leur amplitude n'excède pas 25% de la valeur de crête. Le problème du traitement des erreurs dans la mesure de telles oscillations est à l'étude.

Notes 1. — On souligne le fait que les tolérances admises sur la valeur de crête, la durée du front et la durée à mi-valeur constituent les différences tolérées entre les valeurs spécifiées et les valeurs réelles obtenues par les mesures. Ces différences devront être distinguées des erreurs de mesure qui sont les différences entre les valeurs vraies et celles effectivement mesurées. Pour des informations concernant les erreurs de mesure, voir la Publication 60 de la CEI (en cours de révision).

2. — Dans certains cas particuliers, tel qu'au cours de l'essai des objets de faible impédance, il peut être difficile d'ajuster la forme de choc dans les tolérances recommandées si on veut garder les oscillations ou les lancés dans des limites spécifiées ou pour éviter un changement de polarité. De tels cas doivent être traités par le Comité d'Etudes intéressé.

10.3 Choc de foudre coupé normal

Un choc de foudre coupé normal est un choc de foudre normal 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'Etudes intéressé. Pour des raisons pratiques concernant les mesures, la durée conventionnelle de la chute de tension durant la coupure n'a pas été normalisée. Cette caractéristique n'a d'intérêt que dans quelques cas particuliers.

9.3 *Voltage/time curves*

9.3.1 *Voltage/time curve for linearly rising impulses*

The voltage/time curve for impulses with fronts rising linearly is the curve relating the voltage at the instant of chopping to the rise time T_r . The curve is obtained by applying impulses with approximately linear fronts of different steepnesses.

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

The voltage/time curve for impulses of constant prospective shape is the curve relating the disruptive discharge voltage of a test object to the time to chopping, which may occur on the front, at the crest or on the tail. The curve is obtained by applying impulse voltages of constant shape but with different peak values (see Figure 6, page 51).

10. **Test voltage**

10.1 *Standard lightning impulse*

The standard lightning impulse is a full lightning impulse having a virtual front time of 1.2 μs and a virtual time to half-value of 50 μs .

10.2 *Tolerances*

If not otherwise decided by the relevant Technical Committee, the following differences are accepted between specified values for the standard impulse and those actually recorded (see note 1 and Sub-clause 10.5.1).

Crest value	$\pm 3\%$
Front time	$\pm 30\%$
Time to half-value	$\pm 20\%$

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

Subject to correct measurements, overshoot or oscillations in the neighbourhood of the crest value are tolerated provided their single peak amplitude is not larger than 5% of the crest value. Oscillations on the first part of the impulse (below 50% of the crest value) are tolerated provided that their single peak amplitude does not exceed 25% of the crest value. The question of how to deal with errors in measurement of such oscillations is under consideration.

Notes 1. — It is emphasized that the tolerances on the crest 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 true values and those actually recorded. For information on measuring errors, see IEC Publication 60 (under revision).

2. — In specific cases, such as during tests on low impedance objects, it may be difficult to adjust the shape of the impulse within the tolerances recommended, to keep the oscillations or overshoot within the specified limits, or to avoid a polarity reversal. Such cases must be dealt with by the relevant Technical Committee.

10.3 *Standard chopped lightning impulse*

A standard chopped lightning impulse is a standard impulse which is chopped by an external gap after 2 μs to 5 μs . Other times to chopping may be specified by the relevant Technical Committee. Because of practical difficulties in measurement, the virtual duration of voltage collapse has not been standardized. This characteristic is of importance only for some specific tests.

10.4 *Production de la tension d'essai*

La tension d'essai est généralement produite par un générateur de choc 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.

10.5 *Mesure de la tension d'essai, détermination de la forme du choc*

10.5.1 *Mesure à l'aide des dispositifs approuvés par la Publication 60 de la CEI*

La mesure de la valeur de crête, des paramètres de temps et du lancé de tension ou des oscillations de la tension d'essai devra en général être faite au moyen de dispositifs qui ont satisfait aux essais d'approbation indiqués dans la Publication 60 de la CEI. Les mesures devront être faites avec l'objet en essai dans le circuit et, en général, la forme du choc devra 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.

Note. — Une détermination de la forme du choc par le calcul n'est pas considérée comme satisfaisante.

10.5.2 *Mesure au moyen d'un éclateur à sphères, en conformité avec la Publication 52 de la CEI, 1960*

Seule la mesure de la valeur de crête des chocs pleins ou des chocs coupés sur la queue peut être faite au moyen d'un éclateur à sphères. Le mode opératoire consiste habituellement à établir une relation entre l'écartement auquel les décharges disruptives apparaissent et une autre variable du circuit liée à la tension d'essai, par exemple la tension de charge la plus élevée du premier étage du générateur de choc; voir la Publication 52 de la CEI, 1960.

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 devra être faite qu'à partir de 60% 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.

11. **Modalités d'essai**

Les modalités d'essai applicables aux types particuliers d'objets en essai, par exemple la polarité à utiliser, l'ordre de préférence si les deux polarités doivent être utilisées, le nombre de chocs à appliquer et l'intervalle entre les chocs devront être spécifiés par le Comité d'Etudes intéressé, compte tenu de facteurs tels que:

- la précision requise des résultats d'essai;
- la nature aléatoire du phénomène observé et la dépendance de n'importe quelle caractéristique mesurée avec la polarité;
- la possibilité de dégradation progressive de l'objet avec la répétition des applications de tension.

Quelques conseils concernant les questions statistiques sont donnés à l'annexe A.

10.4 *Generation of the test voltage*

The impulse is usually generated 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.

10.5 *Measurement of the test voltage, determination of impulse shape*

10.5.1 *Measurement with devices approved under IEC Publication 60*

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. The measurements should be made with the test object in the circuit and, in general, the impulse shape should 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 need only be verified once.

Note. — A determination of the impulse shape by calculation is not considered satisfactory.

10.5.2 *Measurement with a sphere-gap, in accordance with IEC Publication 52, 1960*

The measurement only of the crest value of full impulses or impulses chopped after the crest can be made with a sphere-gap. The procedure usually consists in establishing a relationship between the spacing at which disruptive discharges occur and some other circuit variable related to the test voltage, for instance the maximum charging voltage of the first stage of the impulse generator; see IEC Publication 52, 1960.

The relationship may be dependent on the presence of the test object, the sphere-gap, etc. Hence, it is important that these conditions are the same during the sphere-gap 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 should not be made from less than 60% of the test voltage. The extrapolation is only permissible if it can be shown that the test voltage is proportional to the related quantity.

11. **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 should 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 characteristic;
- the possibility of progressive deterioration with repeated voltage applications.

Some guidance on statistical aspects is given in Appendix A.

11.1 Essais de tenue nominale

Les modalités d'essai recommandées dépendent de la nature de l'essai, c'est-à-dire si l'essai concerne une isolation seulement non autorégénératrice, une isolation seulement autorégénératrice ou une combinaison de ces deux types. Le Comité d'Etudes intéressé doit spécifier à quelle catégorie un certain objet en essai devra être rattaché.

11.1.1 Essais de tenue sur isolation non autorégénératrice

Pour les essais sur isolation non autorégénératrice, sauf spécification contraire, trois chocs sont appliqués à la tension de tenue nominale et avec une polarité et une forme spécifiées. Les exigences des essais sont satisfaites si aucune indication de défaut n'est obtenue à l'aide des méthodes de détection spécifiées par le Comité d'Etudes intéressé.

11.1.2 Essais de tenue sur isolation autorégénératrice

Deux modalités d'essai sont d'usage courant pour les essais de tenue sur isolation auto-régénératrice:

- a) Quinze chocs d'amplitude égale à celle de la tension de tenue nominale, de forme et de polarité spécifiées sont appliqués. Les exigences de l'essai sont satisfaites s'il ne se produit pas plus de deux décharges disruptives.
- b) Les modalités d'essai décrites au paragraphe 11.2 pour déterminer la tension de décharge disruptive 50% peuvent être appliquées. L'objet en essai est considéré comme satisfaisant si la tension ainsi déterminée n'est pas inférieure à $1/(1 - 1,3\sigma)$ fois la tension nominale de tenue au choc, où σ est l'écart type de la tension de décharge disruptive.

Sauf spécification contraire, du Comité d'Etudes intéressé, les valeurs suivantes devront être utilisées pour les isolations dans l'air:

- Choc de foudre: $\sigma = 0,03$.
- Chocs de manœuvres (voir section cinq): $\sigma = 0,06$.

11.1.3 Essais de tenue sur une combinaison d'isolation non autorégénératrice et autorégénératrice

Pour les essais sur une combinaison d'isolation non autorégénératrice et autorégénératrice, sauf spécification contraire, 15 chocs sont appliqués à la tension de tenue nominale. Les exigences de l'essai sont satisfaites si aucune décharge disruptive ne se produit dans l'isolation non autorégénératrice et s'il ne se produit pas plus de deux décharges dans l'isolation autorégénératrice.

11.2 Essais de tension de décharge disruptive à 50%

La tension correspondant à la probabilité à 50% de décharge disruptive U_{50} peut être déterminée par l'une des méthodes des paragraphes 11.2.1 et 11.2.2.

11.2.1 La méthode des paliers multiples

On applique au moins dix chocs à chacun des niveaux de tension d'essai, l'intervalle de tension ΔU entre niveaux étant approximativement 3% de la tension escomptée de décharge disruptive 50%. La valeur de tension de décharge disruptive à 50% est obtenue à partir d'une courbe de probabilité de décharge disruptive en fonction de la tension d'essai présumée.

La précision de cette détermination augmente avec le nombre d'applications de la tension, mais il n'est généralement pas nécessaire de dépasser 20 applications à chaque niveau (mais voir annexe A).

La même méthode peut être utilisée pour déterminer l'écart type de la tension de contournement (voir paragraphe A.2.1, annexe A). Quelquefois, cependant, une estimation de sa valeur, basée sur l'expérience passée concernant des objets en essai similaires, peut être plus précise que celle calculée à partir d'un essai comportant un nombre réduit de chocs.

11.1 *Rated withstand voltage tests*

The recommended procedure depends on the nature of the test: that is, whether the test involves non-self-restoring insulation only, self-restoring insulation only, or a combination of both types. The relevant Technical Committee has to specify to what category a certain test object should be referred.

11.1.1 *Withstand tests on non-self-restoring insulation*

For tests on non-self-restoring insulation, unless otherwise specified, three impulses are applied at the rated withstand voltage level and of the specified shape and polarity. The requirements of the tests are satisfied if no indication of failure is obtained, using methods of detection specified by the relevant Technical Committee.

11.1.2 *Withstand tests on self-restoring insulation*

Two test procedures are in common use for withstand tests on self-restoring insulation.

- a) Fifteen impulses of the rated withstand voltage and the specified shape and polarity are applied. The requirements of the test are satisfied if not more than two disruptive discharges occur.
- b) The test procedure described in Sub-clause 11.2 for determining the 50% disruptive discharge voltage may be applied. The test object is deemed to be satisfactory if the voltage so determined is not less than $1/(1 - 1.3\sigma)$ times the rated impulse withstand voltage, where σ is the per unit standard deviation of the disruptive discharge voltage.

Unless otherwise specified by the relevant Technical Committee, the following values should be used for air insulation:

- Lightning impulses: $\sigma = 0.03$.
- Switching impulses (see Section Five): $\sigma = 0.06$.

11.1.3 *Withstand tests on a combination of non-self-restoring and self-restoring insulation*

For tests on a combination of non-self-restoring and self-restoring insulation, unless otherwise specified, 15 impulses of the rated withstand voltage are applied. The requirements of the test are satisfied if no disruptive discharges occur in the non-self-restoring insulation and not more than two discharges occur in the self-restoring insulation.

11.2 *50% disruptive discharge voltage tests*

The voltage corresponding to a 50% disruptive discharge probability U_{50} may be determined by one of the methods of Sub-clauses 11.2.1 and 11.2.2.

11.2.1 *The multiple level method*

At least ten impulses are applied at each of several test voltage levels, the voltage interval ΔU between levels being approximately 3% of the expected 50% disruptive discharge voltage. The value of 50% disruptive discharge voltage is found from a curve of disruptive discharge probability versus prospective test voltage.

The accuracy of this determination increases with the number of voltage applications, but there is generally no need for more than 20 applications at each level (but see Appendix A).

The same method can be used to determine the standard deviation of the flashover voltage (see Sub-clause A.2.1, Appendix A). Sometimes, however, an estimate of its value, based on past experience with similar test objects, may be more accurate than that calculated from a test made with only a restricted number of impulses.

11.2.2 Méthode de montées et descentes

Une tension U_k est choisie, laquelle est considérée comme approximativement égale au niveau de décharge disruptive à 50%. Un intervalle de tension ΔU , approximativement égal à 3% de U_k , est également choisi. On applique un choc d'amplitude U_k . S'il ne produit pas de décharge disruptive, le choc suivant aura l'amplitude $U_k + \Delta U$. S'il y a décharge disruptive au niveau U_k , le choc suivant aura l'amplitude $U_k - \Delta U$.

Ces modalités sont répétées, l'amplitude de chaque choc étant déterminée par le résultat du choc précédent, jusqu'à ce qu'un nombre suffisant d'observations ait été enregistré. Le nombre de chocs n_v , appliqués à chaque niveau U_v , est compté et la tension à 50% de décharge disruptive est calculée par la formule:

$$U_{50} = \frac{\sum n_v U_v}{\sum n_v}$$

Dans cette équation, $\sum n_v$ doit être ≥ 20 , le premier niveau pris en compte étant l'un de ceux pour lesquels deux chocs ou plus ont été appliqués. Ceci évite toute erreur significative si U_k est choisi trop grand ou trop faible. Si une meilleure précision est requise dans la détermination de la tension de la décharge disruptive à 50%, le nombre d'applications de la tension doit être augmenté, mais il n'a généralement pas besoin d'être supérieur à 40.

11.3 Essai de tension de décharge disruptive assurée

Sauf spécification contraire, cinq chocs, de la valeur de crête présumée, de forme et de polarité spécifiées, sont appliqués. Si chaque choc produit une décharge disruptive, les exigences des essais sont satisfaites. Si plus d'un choc ne produit pas de décharge disruptive, les exigences des essais ne sont pas satisfaites. Si un choc ne peut produire de décharge disruptive, dix chocs supplémentaires sont appliqués et si chacun de ces chocs supplémentaires produit une décharge disruptive, les exigences des essais sont encore satisfaites.

11.4 Détermination de tensions correspondant à des probabilités de décharge disruptive très faible ou très élevée

Quelques conseils pour la détermination des tensions correspondant à des probabilités de décharge disruptive très faibles ou très élevées sont données à l'article A.4 de l'annexe A. Ces méthodes ne sont pas destinées à des essais de réception traditionnels, mais elles peuvent être utiles pour des études particulières.

SECTION CINQ — ESSAIS EN TENSION DE CHOC DE MANŒUVRES

12. Définitions concernant les essais aux chocs de manœuvres

12.1 Choc de manœuvres

Un choc de manœuvres (distinct d'un choc de foudre) est défini dans la Publication 60-1 de la CEI. Les caractéristiques d'un choc de manœuvres sont exprimées par les paramètres définis dans les paragraphes 12.2 à 12.7 et illustrées à la figure 7, page 51.

12.2 Valeur de la tension d'essai

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

11.2.2 *The up-and-down method*

A voltage U_k is chosen which is thought to be approximately equal to the 50% disruptive discharge level. A voltage interval ΔU , approximately 3% of U_k , is also chosen. One impulse is applied at the level U_k . If this does not cause a disruptive discharge, the next impulse should have the level $U_k + \Delta U$. If a disruptive discharge occurs at the level U_k , the next impulse should have the level $U_k - \Delta U$.

This procedure is continued, the level of each impulse being thus determined by the result of the previous one, until a sufficient number of observations has been recorded. The number of impulses n_v applied at each level U_v is then counted and the 50% disruptive discharge voltage is given by:

$$U_{50} = \frac{\sum n_v U_v}{\sum n_v}$$

In this equation, $\sum n_v$ should be ≥ 20 , the first level taken into account being one at which two or more impulses were applied. This avoids any appreciable error if U_k is chosen much too high or much too low. If a better accuracy in the determination of the 50% disruptive discharge voltage is required, the number of voltage applications should be increased but generally need not to be higher than 40.

11.3 *Assured disruptive discharge voltage test*

Unless otherwise specified, five impulses of the specified prospective peak value, shape and polarity are applied. If each impulse causes a disruptive discharge, the requirements of the test are satisfied. If more than one impulse fails to cause a disruptive discharge, the requirements of the test are not satisfied. If one impulse fails to cause disruptive discharge, ten additional impulses are applied and if each of these additional impulses cause a disruptive discharge, the requirements of the test are still satisfied.

11.4 *Determination of voltages corresponding to very low or very high disruptive discharge probabilities*

Some guidance on test procedures for the determination of voltages corresponding to very low or to very high disruptive discharge probabilities is given in Clause A.4 of Appendix A. These procedures are not intended for conventional acceptance testing but may be useful for special studies.

SECTION FIVE — TESTS WITH SWITCHING IMPULSE VOLTAGES

12. **Definitions for switching impulse tests**

12.1 *Switching impulse*

A switching impulse (as distinct from a lightning impulse) is defined in IEC Publication 60-1. The characteristics of a switching impulse are expressed by the parameters defined in Sub-clauses 12.2 to 12.7 and illustrated in Figure 7, page 51.

12.2 *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.

12.3 *Durée jusqu'à la crête T_{cr}*

La durée jusqu'à la crête T_{cr} est l'intervalle de temps compris entre le point origine réel et l'instant où la tension atteint la valeur maximale.

12.4 *Durée conventionnelle jusqu'à la mi-valeur T_2*

La durée conventionnelle jusqu'à la mi-valeur T_2 d'un choc de manœuvres est l'intervalle de temps entre l'origine réelle et l'instant sur la queue où la tension est tombée pour la première fois jusqu'à la moitié de la valeur de crête.

12.5 *Durée au-dessus de 90% T_d*

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

Note concernant les paragraphes 12.3 à 12.5:

Quelquefois, pour des chocs de manœuvres, la durée du front est définie de façon identique à celle des chocs de foudre (paragraphe 9.1.4) ou encore d'une manière similaire avec d'autres points de référence et d'autres coefficients multiplicateurs. Pour les chocs de manœuvres ayant les paramètres de durée comme indiqué aux paragraphes 13.1 et 13.2, la durée jusqu'à la crête se situe entre 1,4 et 1,8 fois la durée conventionnelle du front.

La spécification de la durée au-dessus de 90% 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'essai ou lorsque la sévérité d'un essai, sur des parties importantes de l'isolation interne de l'objet en essai, est considérée comme étant fortement dépendante de ce paramètre.

Lors de la spécification d'un choc de manœuvres, il faut utiliser un seul paramètre pour la durée jusqu'à la crête et un seul paramètre pour la durée du choc. Les paramètres particuliers devront être clairement définis en faisant mention, par exemple, de chocs T_{cr}/T_2 ou T_{cr}/T_d .

12.6 *Durée jusqu'à la coupure T_c*

La durée jusqu'à la coupure T_c d'un choc de manœuvres est l'intervalle de temps qui sépare l'origine réelle du moment de la coupure.

12.7 *Choc ayant un front linéaire coupé*

La définition d'un choc ayant un front linéaire coupé (valable à la fois pour les chocs de foudre et pour les chocs de manœuvres) est donnée au paragraphe 9.2.5.

13. **Tension d'essai**

13.1 *Choc de manœuvres normal*

Le choc de manœuvres normal est un choc ayant une durée jusqu'à la crête T_{cr} de 250 μs et un temps jusqu'à mi-valeur T_2 de 2 500 μs . Il est appelé choc de 250/2 500.

13.2 *Chocs spéciaux*

Si le choc normal seul n'est pas considéré comme suffisant ou approprié, il est recommandé de choisir des chocs de 100/2 500 et de 500/2 500. On a proposé aussi un choc oscillant amorti ayant une durée de la première demi-période comprise entre 2 000 μs et 3 000 μs et une tension de crête de la deuxième demi-période de polarité opposée d'environ 80% de la première.

13.3 *Tolérances*

Sauf décision contraire du Comité d'Etudes intéressé, les différences suivantes sont autorisées entre les valeurs spécifiées à la fois pour les chocs normaux et spéciaux, et celles réellement mesurées (voir note 1 du paragraphe 10.2), pourvu que le dispositif de mesure satisfasse aux spécifications de la Publication 60 de la CEI.

12.3 *Time to crest T_{cr}*

The time to crest T_{cr} is the time interval between the actual origin and the instant when the voltage has reached its maximum value.

12.4 *Virtual time to half-value T_2*

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

12.5 *Time above 90%, T_a*

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

Note to Sub-clauses 12.3 to 12.5:

The front duration for switching impulses is sometimes alternatively defined in the same manner as the virtual front time for lightning impulses (Sub-clause 9.1.4), or in a similar manner with other reference points and multiplying factors. For switching impulses with time parameters as given in Sub-clauses 13.1 and 13.2, the time to crest is between 1.4 and 1.8 times the virtual front time.

Specification of the time above 90% instead of the time to half-value is found useful for instance in cases where 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 the internal insulation of the test object, is considered to be highly dependent on this parameter.

When specifying a switching impulse, only one parameter related to the front and one to the duration should be given. The particular time parameters defined should be clearly indicated by reference, for example, to a T_{cr}/T_2 or T_{cr}/T_d impulse.

12.6 *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.

12.7 *Linearly rising front chopped impulse*

The definition of a linearly rising front chopped impulse (applicable to both lightning and switching impulses) is given in Sub-clause 9.2.5.

13. **Test voltage**

13.1 *Standard switching impulse*

The standard switching impulse is an impulse having a time to crest T_{cr} of 250 μs and a time to half-value T_2 of 2 500 μs . It is described as a 250/2 500 impulse.

13.2 *Special impulses*

When use of the standard impulse alone is not considered sufficient or appropriate, impulses of 100/2 500 and 500/2 500 are recommended. An oscillatory impulse has also been proposed, having a first half-period of duration between 2 000 μs and 3 000 μs and a peak value of the second half-period of opposite polarity about 80% of that of the first one.

13.3 *Tolerances*

If not otherwise decided 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 Sub-clause 10.2), provided that the measuring device meets the requirements of IEC Publication 60.

Valeur de crête	$\pm 3\%$
Durée jusqu'à la crête	$\pm 20\%$
Durée jusqu'à 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 atteindre les tolérances recommandées. Dans de tels cas, d'autres tolérances ou d'autres formes de chocs peuvent être spécifiées par le Comité d'Etudes intéressé.

Note. — Les résultats mesurés dans les essais aux chocs de manœuvres avec des fronts linéaires sont habituellement présentés sous forme de courbes tension-durée (voir paragraphe 9.3.1). L'étendue de la zone d'intérêt pratique est très grande et il n'est pas nécessaire de définir ni une raideur de front particulière ou des durées de front présumées, ni des tolérances sur ces valeurs.

13.4 Production de la tension d'essai

Les chocs de manœuvres sont généralement produits par un générateur de choc traditionnel (voir paragraphe 10.4). Ils peuvent aussi être produits en appliquant un choc à l'enroulement primaire d'un transformateur d'essai (ou du transformateur en essai). La figure 8, page 52, donne un schéma possible pour ce dernier cas. Un condensateur C_1 préalablement chargé est déchargé dans le circuit générateur du choc par l'intermédiaire d'un interrupteur K. Les éléments R_2 et C_2 , du circuit entouré d'un pointillé, ou d'autres éléments convenables sont utilisés pour ajuster la forme de choc. D'autres méthodes de production des chocs de manœuvres sont également utilisées, l'une par exemple comprenant la coupure rapide d'un courant établi dans l'enroulement d'un transformateur.

Les éléments de circuit pour la production des chocs de manœuvres ne devront pas introduire de distorsion excessive de la forme de choc par suite des courants de pré-décharges dans l'objet en essai. De tels courants peuvent atteindre des valeurs considérables, particulièrement pendant les essais sous pollution sur isolation externe sous haute tension. Dans les circuits d'impédance interne très élevée, ils peuvent provoquer la déformation de la forme de choc ou bien encore empêcher que la décharge disruptive ne se produise.

13.5 Mesure de la tension d'essai, détermination de la forme de choc

La mesure de la tension d'essai et la détermination de la forme de choc devront être faites conformément aux paragraphes 10.5.1 et 10.5.2. Noter cependant que la Publication 52 de la CEI, 1960, ne donne aucune information spécifique concernant la mesure de la valeur de crête des chocs de manœuvres.

14. Modalités d'essai

Les modalités d'essai aux chocs de manœuvres sont, en général, les mêmes que pour l'essai au choc de foudre et des considérations statistiques similaires s'appliquent (voir l'article 11 et l'annexe A).

Note. — Avec les chocs de manœuvres, des décharges disruptives se produisent fréquemment à des instants divers bien avant la crête. Quand on présente les résultats d'essai concernant les décharges disruptives, en accord avec les paragraphes 11.2 à 11.4, la relation entre la probabilité d'amorçage et la tension est en général exprimée en fonction de la valeur de crête présumée. Cependant, une autre méthode est également en usage, dans laquelle la tension réelle de décharge disruptive pour chaque choc doit être mesurée par un oscillographe ou par d'autres moyens; la distribution de probabilité des valeurs de tension mesurées est alors déterminée par la méthode décrite pour les essais de la deuxième catégorie à l'annexe A.

SECTION SIX — ESSAIS AUX CHOCS DE COURANT

15. Définitions concernant les essais aux chocs de courant

15.1 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

Crest value	$\pm 3\%$
Time to crest	$\pm 20\%$
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 measured results of tests using switching impulses with linear fronts are usually presented as voltage/time curves (see Sub-clause 9.3.1). The range of practical interest is very large and there is no need to specify any particular front steepnesses or prospective front times, nor any tolerances on these values.

13.4 *Generation of the test voltage*

Switching impulses are usually generated by a conventional impulse generator (see Sub-clause 10.4). 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). One circuit arrangement for this method is shown in Figure 8, page 52. An initially charged capacitor C_1 is discharged into the impulse generating circuit through a switch K . The elements R_2 and C_2 in dotted rectangle, or other suitable components are provided to control the shape. Other methods of generating switching impulses are also in use, one 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 pre-discharge currents in the test object. Such currents may 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.

13.5 *Measurement of the test voltage, determination of impulse shape*

The measurement of the test voltage and the determination of the impulse shape should be made as described in Sub-clauses 10.5.1 and 10.5.2. Note however that IEC Publication 52, 1960, gives no information specifically related to the measurement of the peak value of switching impulses.

14. **Test procedures**

The test procedures are, in general, the same as for lightning impulse testing and similar statistical considerations apply (see Clause 11 and Appendix A).

Note. — With switching impulses, disruptive discharges frequently occur at random times well before the crest. In presenting the results of disruptive discharge tests, made in accordance with Sub-clauses 11.2 to 11.4, the relationship of discharge probability to voltage is generally expressed in terms of the prospective crest value. However, another method is also in use, in which the actual disruptive discharge voltage for every impulse must be measured, by oscillograph or other means; the probability distribution of the measured voltage values is then determined by the method described for class 2 tests in Appendix A.

SECTION SIX — TESTS WITH IMPULSE CURRENTS

15. **Definitions for impulse current tests**

15.1 *Impulse currents*

Two types of impulse currents are dealt with. The first type has a shape which increases from zero to a crest value in a short time, and thereafter decreases to zero either approximately

près exponentiellement, soit à la façon d'une courbe sinusoïdale fortement amortie. Ce type de choc est défini par sa durée de front conventionnelle T_1 et par sa durée conventionnelle jusqu'à mi-valeur T_2 (voir paragraphes 15.3 et 15.5).

Le second type a une forme sensiblement rectangulaire et est défini par la durée conventionnelle jusqu'à la crête et la durée conventionnelle totale (voir paragraphes 15.6 et 15.7).

15.2 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 intéressé de décider si la valeur du courant d'essai devra être définie par la crête réelle ou par la ligne moyenne tracée au milieu des oscillations.

15.3 Durée conventionnelle du front T_1

La durée conventionnelle du front T_1 d'un choc de courant est définie comme étant 1,25 fois l'intervalle de temps entre les instants où le courant atteint 10% et 90% de la valeur de crête. Si des oscillations sont présentes sur le front, les points correspondant à 10% et à 90% devront être pris sur la ligne moyenne tracée au milieu des oscillations de façon analogue à celle utilisée pour les chocs de foudre avec oscillations (voir figure 1a, page 48).

Note. — La différence entre les durées de front mesurées, conformément à cette définition et à celle donnée au paragraphe 9.1.4 pour les chocs de foudre, est généralement inférieure à 10%.

15.4 Origine conventionnelle O_1

L'origine conventionnelle O_1 d'un choc de courant est l'instant qui précède, d'une durée de $0,1 \times T_1$, celui où le courant atteint 10% de la valeur de crête. Pour les oscillogrammes à balayage linéaire, ce sera l'intersection avec l'axe des abscisses de la droite passant par les points de référence 10% et 90% du front.

15.5 Durée conventionnelle jusqu'à la mi-valeur T_2

La durée conventionnelle jusqu'à la mi-valeur T_2 d'un choc de courant est l'intervalle de temps compris entre l'origine conventionnelle et l'instant sur la queue où le courant est tombé pour la première fois à la moitié de la valeur de crête.

15.6 Durée conventionnelle de la crête d'un choc de courant rectangulaire

La durée conventionnelle de la crête d'un choc de courant rectangulaire est le temps au cours duquel le courant dépasse 90% de la valeur de crête.

15.7 Durée conventionnelle totale d'un choc de courant rectangulaire

La durée conventionnelle totale d'un choc de courant rectangulaire est l'intervalle de temps pendant lequel la valeur du courant est supérieure à 10% de sa valeur de crête. Si le front présente des oscillations, on tracera une ligne moyenne pour connaître l'instant où le courant atteindra la valeur de 10%.

16. Courant d'essai

16.1 Chocs de courant normaux

On utilise deux chocs de courant normaux correspondant au premier type de choc de courant défini au paragraphe 15.1. L'un a une durée conventionnelle de front de 8 μ s et une durée jusqu'à

exponentially or in the manner of a heavily damped sine curve. This type is defined by the virtual front time T_1 and the virtual time to half-value T_2 (see Sub-clauses 15.3 and 15.5).

The second type has an approximately rectangular shape and is defined by the virtual duration of the peak and the virtual total duration (see Sub-clauses 15.6 and 15.7).

15.2 *Value of the test current*

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

15.3 *Virtual front time T_1*

The virtual front time T_1 of an impulse current is defined as 1.25 times the interval between the instants when the impulse is 10% and 90% of the peak value. If oscillations are present on the front, the 10% and 90% values should be derived from a mean curve drawn through these oscillations in an analogous manner to that used for oscillatory lightning impulses (see Figure 1a, page 48).

Note. — The difference between front times measured according to this definition and to that given in Sub-clause 9.1.4 for lightning impulses is generally less than 10%.

15.4 *Virtual origin O_1*

The virtual origin O_1 of an impulse current is the instant preceding that at which the current is 10% of the peak value by a time $0.1 \times T_1$. For oscillograms having linear time sweeps, this is the intersection with the x -axis of a straight line drawn through the 10% and 90% reference points on the front.

15.5 *Virtual time to half-value T_2*

The virtual time to half-value T_2 of an impulse current is the time interval between the virtual origin and the instant on the tail at which the current has first decreased to half the peak value.

15.6 *Virtual duration of peak of a rectangular impulse current*

The virtual duration of the peak of a rectangular impulse current is the time during which the current is greater than 90% of the peak value.

15.7 *Virtual total duration of a rectangular impulse current*

The virtual total duration of a rectangular impulse current is the time during which the amplitude of the impulse is greater than 10% of its peak value. 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.

16. **Test current**

16.1 *Standard impulse currents*

Two standard impulse currents corresponding to the first type of impulse defined in Sub-clause 15.1 are used. One has a virtual front time of 8 μ s and a time to half-value of 20 μ s; it is

mi-valeur de 20 μ s; il est désigné par un choc de 8/20. L'autre a une durée conventionnelle de front de 4 μ s et une durée jusqu'à mi-valeur de 10 μ s; il est désigné par un choc de 4/10.

Les chocs de courant rectangulaires (voir paragraphe 15.1) ont des durées conventionnelles de crête, avec les tolérances spécifiées, égales à 500 μ s, 1 000 μ s ou 2 000 μ s ou entre 2 000 μ s et 3 200 μ s.

16.2 Tolérances

Les différences suivantes sont autorisées entre les valeurs spécifiées pour les chocs de courant et celles réellement mesurées pourvu que le circuit de mesure satisfasse aux spécifications de la Publication 60 de la CEI.

Pour les formes de choc de 8/20 et de 4/10

Valeur de crête	$\pm 10\%$
Durée conventionnelle du front T_1	$\pm 10\%$
Durée conventionnelle jusqu'à mi-valeur T_2	$\pm 10\%$

On peut tolérer un léger lancé ou des oscillations pourvu que l'amplitude de la demi-alternance au voisinage de la crête soit égale ou inférieure à 5% de la valeur de crête. Toute demi-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	$+ 20\%$ $- 0\%$

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

16.3 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 de la CEI.

16.4 Mesure de la tension pendant les essais de courants de choc

Il est parfois demandé de mesurer les tensions qui apparaissent aux bornes de l'objet en essai pendant le passage des courants de choc intenses. N'importe quel dispositif approuvé pour la mesure de tensions de choc mentionné dans la Publication 60 de la CEI peut être utilisé dans ce but.

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 brancher au côté mis à la terre de l'objet, tout en conservant approximativement la même disposition d'ensemble. Une alternative est de court-circuiter l'objet en essai ou de le remplacer par un conducteur métallique rigide. La tension mesurée dans n'importe quelles conditions, lorsque le générateur est déchargé, devrait être 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.

Note. — Le contrôle en court-circuit peut être fait à courant réduit.

described as an 8/20 impulse. The other has a virtual front time of 4 μ s and a time to half-value of 10 μ s; it is described as a 4/10 impulse.

Rectangular impulse currents (see Sub-clause 15.1) have virtual durations of the peak equal, within the specified tolerances, to 500 μ s, 1 000 μ s or 2 000 μ s or between 2 000 μ s and 3 200 μ s.

16.2 Tolerances

The following differences are accepted between specified values for the impulse currents and those actually recorded, provided that the measuring system meets the requirements of IEC Publication 60.

For 8/20 and 4/10 impulses

Crest value	$\pm 10\%$
Virtual front time T_1	$\pm 10\%$
Virtual 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 crest of the impulse is not more than 5% of the crest value. Any polarity reversal after the current has fallen to zero should not be more than 20% of the crest value.

For rectangular impulses

Crest value	$+ 20\%$ $- 0\%$
Virtual duration of the crest	$+ 20\%$ $- 0\%$

An overshoot or oscillations are tolerated provided that their single peak amplitude is not more than 10% of the crest value. The total duration of a rectangular impulse should not be larger than 1.5 times the virtual duration of the crest and the polarity reversal should be limited to 10% of the crest value.

16.3 Measurement of the test current

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

16.4 Measurement of voltage during tests with impulse currents

Measurements are sometimes required of the voltages developed across the test object during tests with high impulse currents. Any of the approved devices for measurement of impulse voltages listed in IEC Publication 60 may be used for the purpose.

The impulse current may induce appreciable voltages in the impulse voltage measuring circuit, causing significant errors. As a check, it is therefore recommended that the lead which 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 voltage measured under any of these conditions, when the generator is discharged, should be 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.

Note. — The short-circuit check may be made at a reduced current.

ANNEXE A

TRAITEMENT STATISTIQUE DES RÉSULTATS D'ESSAIS

A.1 Position du problème

Les décharges disruptives étant des phénomènes aléatoires, il paraît utile d'employer des procédés statistiques pour obtenir des informations plus significatives à partir des résultats d'essais. On suppose alors qu'à chaque niveau de tension d'essai U est attachée une probabilité spécifique p qu'une décharge disruptive se produise pour toute application particulière. Quelques essais ont pour but de déterminer la fonction de distribution de probabilité $p(U)$ qui relie p à la tension U .

En général, la fonction de distribution est exprimée à l'aide de la valeur moyenne U_M et de l'écart type σ de la tension de décharge disruptive. Ces paramètres et l'expression de la fonction peuvent être déterminés à partir d'essais comprenant un grand nombre d'applications de tensions à condition que les applications de tensions successives ne changent pas significativement les caractéristiques de l'objet en essai ou, en variante, que l'on utilise un objet neuf à chaque application.

Parfois, comme pour certains essais de choc sur l'isolation externe, la fonction de distribution de probabilité est approximativement gaussienne pour des probabilités de décharge disruptive allant de quelques pour-cent à 95% ou même à 98%. Cependant, on ne dispose que de peu d'informations sur les caractères de la fonction de distribution de probabilité pour l'isolation interne avec tous types de tensions, et pour l'isolation externe avec les tensions continue et alternative. Les écarts types sont généralement compris entre 2% et 8%, mais des valeurs beaucoup plus grandes ont été trouvées pendant des essais de choc sur isolation interne.

En pratique, parce que le nombre d'applications de tensions exécutées pendant les essais est limité, les vraies valeurs de U_M et de σ ne peuvent être évaluées que dans certaines limites de précision qui (pour un degré donné de certitude) peuvent être calculées (article A.3). Les valeurs mesurées sont appelées $\bar{U}$ et s .

Dans les paragraphes suivants, on présente un bref résumé de méthodes simplifiées qui sont utiles pour l'analyse des résultats d'essais sur des objets en essai qui ne sont pas affectés par les applications répétées (isolation autorégénératrice).

Note. — On attire l'attention sur le fait que la fonction de distribution de probabilité n'est pas obligatoirement symétrique par rapport à la valeur moyenne. Il faut alors prendre soin de distinguer les termes « valeur moyenne » et « valeur la plus probable ».

A.2 Classification des essais

Les essais de décharges disruptives peuvent être classés en trois catégories différentes afin d'obtenir des évaluations statistiques:

Première catégorie

La première catégorie comprend les essais faits par l'application répétée de tension de forme essentiellement constante et durant lesquels, pour chaque niveau de tension, on compte la proportion d'applications de tension occasionnant les décharges disruptives. C'est principalement le cas pour les essais de choc, mais certains essais en tensions continue et alternative entrent également dans cette catégorie.

APPENDIX A

STATISTICAL EVALUATION OF TEST RESULTS

A.1 Statement of the problem

As disruptive discharges are random phenomena, statistical procedures are useful to obtain more meaningful information from the measurements. It may be supposed that, for each test voltage level U , there is a specific probability p of disruptive discharge occurring on any particular application. Some tests are aimed at a determination of the probability distribution function $p(U)$ relating p to the voltage U .

Usually, the probability distribution function is expressed in terms of the mean value U_M and the standard deviation σ of the disruptive discharge voltage. These parameters and the form of the function can be determined from tests made with a large number of voltage applications, provided that successive voltage applications do not significantly change the characteristics of the test object or, alternatively, if a fresh test object is used for each application.

Sometimes, for instance in certain impulse tests on external insulation, the probability distribution function is approximately Gaussian from some few per cent up to 95% or even 98% disruptive discharge probability. Little information is available however on the character of the probability distribution function for internal insulation, with any type of voltage, and for external insulation, with direct and alternating voltages. Standard deviations are generally between 2% and 8%, but much larger values have been found during impulse tests on internal insulation.

Because in practical tests only a limited number of voltage applications can be made, the true values of U_M and σ can be estimated only within certain limits of accuracy, which (for a given degree of certainty) can be calculated (Clause A.3). The measured values are designated $\bar{U}$ and s .

In the following, a brief summary is presented of some simple methods which are useful for the analysis of high voltage test results on test objects which are not affected by repeated applications (self-restoring insulation).

Note. — Attention is drawn to the fact that the probability distribution function is not necessarily symmetrical about the mean value. Hence, it is necessary to distinguish between the terms “mean value” and “most probable value”.

A.2 Classification of tests

Disruptive discharge tests can be subdivided into three different categories for the purposes of statistical evaluation:

Class 1

Class 1 comprises tests made by repeated application of voltages of substantially constant shape in which, for each voltage level, the proportion of voltage applications causing disruptive discharges is recorded. It mainly applies to impulse tests, but certain alternating and direct voltage tests also fall into this class.

Deuxième catégorie

La deuxième catégorie comprend les essais dans lesquels chaque application de tension produit la décharge disruptive. Les essais sont faits en appliquant à l'objet en essai une tension continuellement croissante et en mesurant la valeur instantanée de la tension quand la décharge disruptive se produit. De tels essais peuvent être faits avec des tensions continue, alternative ou de choc. En particulier, les essais occasionnant une décharge disruptive sur le front du choc entrent dans cette catégorie.

Troisième catégorie

La troisième catégorie comprend les essais faits par application répétée de tension de forme essentiellement constante pour lesquelles le niveau est déterminé par le résultat de l'application de tension précédente, la première tension appliquée étant approximativement égale à la valeur estimée de la tension à 50% de décharge disruptive.

A.2.1 Analyse des résultats d'essais de la première catégorie

Les résultats de la première catégorie peuvent être reportés sur un graphique gaussio-arithmétique (graphique à probabilités) en mettant la tension sur l'axe linéaire. Si ces points se situent approximativement sur une droite, la distribution est à peu près gaussienne. La tension correspondant à l'intersection de la droite avec la probabilité $p = 0,5$ peut être utilisée comme une détermination approximative de la valeur moyenne $\bar{U}$ et l'intervalle de tension entre $p = 0,5$ et $p = 0,16$ comme une estimation de s .

On peut trouver dans les ouvrages spécialisés d'autres méthodes plus précises pour estimer $\bar{U}$ et s .

A.2.2 Analyse des résultats d'essais de la deuxième catégorie

Les résultats de la deuxième catégorie se présentent sous la forme d'une suite de n valeurs de tension U_v , à partir de laquelle les valeurs estimées de la tension de décharge disruptive $\bar{U}$ et de l'écart type s peuvent être ainsi obtenus:

$$\bar{U} = \frac{1}{n} \sum_{v=1}^n U_v$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{v=1}^n (U_v - \bar{U})^2}$$

Une autre méthode consiste à reporter la valeur de $n_v/(n+1)$ sur un graphique gaussio-arithmétique en fonction de U_v , où n_v est le nombre de décharges disruptives qui se sont produites jusqu'à et y compris la tension U_v et n le nombre total d'applications de tension.

La courbe permet une détermination de $\bar{U}$ et s de la même façon qu'au paragraphe A.2.1 mais ne donne pas nécessairement les mêmes résultats que la méthode de calcul ci-dessus.

A.2.3 Analyse des résultats d'essais de la troisième catégorie

Des modalités d'exécution se rapportant aux essais de la troisième catégorie et la méthode d'analyse des résultats d'essais ainsi obtenus pour déterminer la tension de décharge disruptive à 50% sont décrites au paragraphe 11.2.2. Pour d'autres méthodes et applications, on se référera aux ouvrages spécialisés.

A.3 Limites de confiance

Pour chaque ensemble de n mesures, on peut faire des vérifications statistiques pour définir entre quelles limites se situe la vraie grandeur moyenne de U_M et le vrai écart type σ , avec une probabilité donnée p_c d'être correct. Ces intervalles sont généralement donnés pour $p_c = 0,95$ et sont appelés par conséquent « intervalles de confiance à 95% ».