

**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 60-1**

Première édition — First edition

1973

---

**Techniques des essais à haute tension**

**Première partie: Définitions et prescriptions générales relatives aux essais**

---

**High-voltage test techniques**

**Part 1: General definitions and test requirements**

---



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 60-1

Première édition — First edition

1973

---

### Techniques des essais à haute tension

Première partie: Définitions et prescriptions générales relatives aux essais

---

### High-voltage test techniques

Part 1: General definitions and test requirements

---



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 . . . . .                                                                                                   | 4     |
| PRÉFACE . . . . .                                                                                                     | 4     |
| SECTION UN — GÉNÉRALITÉS                                                                                              |       |
| Articles                                                                                                              |       |
| 1. Domaine d'application . . . . .                                                                                    | 6     |
| 2. Objet . . . . .                                                                                                    | 6     |
| SECTION DEUX — DÉFINITIONS GÉNÉRALES                                                                                  |       |
| 3. Chocs . . . . .                                                                                                    | 6     |
| 3.1 Chocs de foudre et de manœuvres . . . . .                                                                         | 6     |
| 4. Caractéristiques relatives à la décharge disruptive et aux tensions d'essais . . . . .                             | 8     |
| 4.1 Décharge disruptive . . . . .                                                                                     | 8     |
| 4.2 Valeur de la tension d'essai . . . . .                                                                            | 8     |
| 4.3 Tension de décharge disruptive . . . . .                                                                          | 8     |
| 4.4 Caractéristiques présumées d'une tension d'essai . . . . .                                                        | 8     |
| 4.5 Probabilité de décharge disruptive $p$ . . . . .                                                                  | 8     |
| 4.6 Probabilité de tenue . . . . .                                                                                    | 10    |
| 4.7 Tension de tenue nominale . . . . .                                                                               | 10    |
| 4.8 Tension de décharge disruptive assurée . . . . .                                                                  | 10    |
| 4.9 Tension 50% de décharge disruptive . . . . .                                                                      | 10    |
| 4.10 Tension $x\%$ de décharge disruptive . . . . .                                                                   | 10    |
| 5. Classification des isolations . . . . .                                                                            | 10    |
| 5.1 Isolation externe . . . . .                                                                                       | 10    |
| 5.2 Isolation interne . . . . .                                                                                       | 10    |
| 5.3 Isolation autorégénératrice . . . . .                                                                             | 10    |
| 5.4 Isolation non autorégénératrice . . . . .                                                                         | 10    |
| SECTION TROIS — PRESCRIPTIONS GÉNÉRALES RELATIVES AUX MODALITÉS D'ESSAIS<br>ET AU CONDITIONNEMENT DE L'OBJET EN ESSAI |       |
| 6. Dispositions générales de l'objet en essai . . . . .                                                               | 12    |
| 7. Essais à sec . . . . .                                                                                             | 12    |
| 8. Essais sous pluie . . . . .                                                                                        | 12    |
| 8.1 Modalités révisées des essais sous pluie . . . . .                                                                | 12    |
| 8.2 Modalités traditionnelles d'essais sous pluie sous tension alternative . . . . .                                  | 14    |
| 9. Essais sous pollution artificielle . . . . .                                                                       | 16    |
| 9.1 Préparation de l'objet en essai . . . . .                                                                         | 16    |
| 9.2 Modalités d'essai . . . . .                                                                                       | 18    |
| 9.3 Degré de la pollution . . . . .                                                                                   | 20    |
| 10. Conditions atmosphériques . . . . .                                                                               | 20    |
| 10.1 Facteurs de correction atmosphérique . . . . .                                                                   | 20    |
| 10.2 Atmosphère normale de référence . . . . .                                                                        | 20    |
| 10.3 Facteurs de correction de densité de l'air et de l'humidité . . . . .                                            | 22    |
| 10.4 Mesure de l'humidité . . . . .                                                                                   | 22    |
| ANNEXE A — Production du brouillard salin . . . . .                                                                   | 26    |
| ANNEXE B — Pollution prédéposée, application de la couche et processus d'humidification . . . . .                     | 28    |
| ANNEXE C — Mesure du degré de pollution . . . . .                                                                     | 32    |
| FIGURES . . . . .                                                                                                     | 34    |

## CONTENTS

|                                                                                   | Page |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------|
| FOREWORD . . . . .                                                                | 5    |
| PREFACE . . . . .                                                                 | 5    |
| SECTION ONE — GENERAL                                                             |      |
| Clause                                                                            |      |
| 1. Scope . . . . .                                                                | 7    |
| 2. Object . . . . .                                                               | 7    |
| SECTION TWO — GENERAL DEFINITIONS                                                 |      |
| 3. Impulses . . . . .                                                             | 7    |
| 3.1 Lightning and switching impulses . . . . .                                    | 7    |
| 4. Characteristics related to disruptive discharge and test voltages . . . . .    | 9    |
| 4.1 Disruptive discharge . . . . .                                                | 9    |
| 4.2 Value of test voltage . . . . .                                               | 9    |
| 4.3 Disruptive discharge voltage . . . . .                                        | 9    |
| 4.4 Prospective characteristics of a test voltage . . . . .                       | 9    |
| 4.5 Disruptive discharge probability $p$ . . . . .                                | 9    |
| 4.6 Withstand probability . . . . .                                               | 11   |
| 4.7 Rated withstand voltage . . . . .                                             | 11   |
| 4.8 Assured disruptive discharge voltage . . . . .                                | 11   |
| 4.9 50% disruptive discharge voltage . . . . .                                    | 11   |
| 4.10 $x\%$ disruptive discharge voltage . . . . .                                 | 11   |
| 5. Classification of insulation . . . . .                                         | 11   |
| 5.1 External insulation . . . . .                                                 | 11   |
| 5.2 Internal insulation . . . . .                                                 | 11   |
| 5.3 Self-restoring insulation . . . . .                                           | 11   |
| 5.4 Non-self-restoring insulation . . . . .                                       | 11   |
| SECTION THREE — GENERAL REQUIREMENTS RELATING TO TEST PROCEDURE AND TEST OBJECTS  |      |
| 6. General arrangement of the test object . . . . .                               | 13   |
| 7. Dry tests . . . . .                                                            | 13   |
| 8. Wet tests . . . . .                                                            | 13   |
| 8.1 Revised wet test procedure . . . . .                                          | 13   |
| 8.2 Conventional procedures for wet tests with alternating voltage . . . . .      | 15   |
| 9. Artificial pollution tests . . . . .                                           | 17   |
| 9.1 Preparation of test object . . . . .                                          | 17   |
| 9.2 Test procedures . . . . .                                                     | 19   |
| 9.3 Degree of pollution . . . . .                                                 | 21   |
| 10. Atmospheric conditions . . . . .                                              | 21   |
| 10.1 Atmospheric correction factors . . . . .                                     | 21   |
| 10.2 Standard reference atmosphere . . . . .                                      | 21   |
| 10.3 Air density and humidity correction factors . . . . .                        | 23   |
| 10.4 Measurement of humidity . . . . .                                            | 23   |
| APPENDIX A — Production of saline fog . . . . .                                   | 27   |
| APPENDIX B — Pre-deposition of pollution, coating and wetting procedure . . . . . | 29   |
| APPENDIX C — Measurement of the degree of pollution . . . . .                     | 33   |
| FIGURES . . . . .                                                                 | 34   |

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TECHNIQUES DES ESSAIS À HAUTE TENSION

Première partie: Définitions et prescriptions générales relatives aux essais

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'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 des prescriptions générales relatives aux essais et plus particulièrement des sections un, deux et trois. Une autre recommandation, la Publication 60-2 de la CEI (troisième édition): Modalités d'essais, forme les sections quatre, cinq, six et sept. Un document final: 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)14, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en juin 1970. En raison des votes négatifs émis par la France et l'U.R.S.S., un projet révisé, documents 42(Bureau Central)21 et 42(Bureau Central)21A, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Procédure des Deux Mois en mars et avril 1972. Par ces démarches successives, les votes négatifs furent éliminés.

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

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

Etant donné qu'il est nécessaire de réimprimer la première édition de la Publication 60-1, il a été décidé de saisir cette occasion pour corriger, au paragraphe 9.1, l'erreur commise sur la formule de phosphate trisodique. L'article 9 de la première édition faisait référence à un futur rapport de la CEI qui contiendrait des informations spécifiques sur les essais de pollution artificielle pour isolateurs à haute tension désignés aux réseaux à courant alternatif. Comme ce rapport est paru en 1975, les références le concernant ont été mises à jour.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**HIGH-VOLTAGE TEST TECHNIQUES**

**Part 1: General definitions and test requirements**

**FOREWORD**

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects 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 general test specifications, more specifically Sections One, Two and Three. Another recommendation, IEC Publication 60-2 (Third edition): Test Procedures, covers Sections Four, Five, Six and Seven. A final 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 in Bucharest in 1962, a general discussion was held concerning what modifications and addendums 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)14, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in June 1970. Due to negative votes from France and the U.S.S.R., a revised draft, documents 42(Central Office)21 and 42(Central Office)21A, was submitted to the National Committees for approval under the Two Months' Procedure in March and April 1972. By these successive procedures, the negative votes were eliminated.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

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

Since it was necessary to re-print the first edition of Publication 60-1, it was decided to take this opportunity of correcting the error concerning the formula for trisodium phosphate in Sub-clause 9.1. In Clause 9 of the first edition reference was made to a future IEC Report in which specific information on artificial pollution tests for k.v. insulators to be used on a.c. systems would be given. As this report was published in 1975, the references to it have now been updated.

## TECHNIQUES DES ESSAIS À HAUTE TENSION

### Première partie: Définitions et prescriptions générales relatives aux 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 d'application générale;
- de présenter les prescriptions générales relatives à l'objet en essai et les modalités d'essais.

Les définitions et prescriptions relatives à certains essais particuliers sont données dans la Publication 60-2 de la CEI: Techniques des essais à haute tension, Deuxième partie: Modalités d'essais, et celles concernant les 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, 1962).

#### SECTION DEUX — DÉFINITIONS GÉNÉRALES

##### 3. Chocs

Un choc est une tension ou un courant transitoire apériodique appliqué intentionnellement qui habituellement croît rapidement jusqu'à une valeur de crête, puis décroît plus lentement jusqu'à zéro. Un tel choc est en général bien représenté par la somme de deux exponentielles.

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

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

##### 3.1 Chocs de foudre et de manœuvres

Une distinction est faite entre les chocs de foudre et les chocs de manœuvres d'après la durée du front. Les chocs, dont les durées du front sont comprises entre moins de une à quelques dizaines de microsecondes, sont en général considérés comme étant des chocs de foudre et ceux qui ont une durée du front de quelques dizaines à quelques milliers de microsecondes comme étant des chocs de manœuvres. Généralement, les chocs de manœuvres sont également caractérisés par des durées totales considérablement plus longues que celles des chocs de foudre.

*Note.* — Si besoin est, une distinction plus rigoureuse peut être faite par le Comité d'Etudes intéressé. Une telle distinction est faite dans la Publication 99-1 de la CEI: Parafoudres, Première partie: Parafoudres à résistance variable pour réseaux à courant alternatif, et est basée sur une valeur conventionnelle de la durée du front de 30  $\mu$ s.

# HIGH-VOLTAGE TEST TECHNIQUES

## Part 1: General definitions and test requirements

### 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 of general applicability;
- to present general requirements regarding test objects and test procedures.

Definitions and requirements concerning specific types of tests are given in IEC Publication 60-2, High Voltage Test Techniques, Part 2: Test Procedures, and those concerning approved measuring devices and checking methods will be given in the future IEC Publication 60-3 and an Application Guide (revision of Section Eight and of the Appendix of IEC Publication 60, 1962).

### SECTION TWO — GENERAL DEFINITIONS

#### 3. Impulses

An impulse is an intentionally applied aperiodic transient voltage or current which usually rises rapidly to a peak value and then falls more slowly to zero. Such an impulse is in general well represented by the sum of two exponentials.

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

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

##### 3.1 *Lightning and switching impulses*

A distinction is made between lightning impulses and switching impulses on the basis of the duration of the front. Impulses with front durations from less than one up to a few tens of microseconds are in general considered as lightning impulses and those having front durations of some tens up to thousands of microseconds as switching impulses. Generally, switching impulses are also characterized by considerably longer total durations than those of lightning impulses.

*Note.* — If required, a more rigorous distinction may be made by the relevant Technical Committee. Such a distinction is made in IEC Publication 99-1, Lightning Arresters, Part 1: Non-linear Resistor Type Arresters for a.c. Systems, and is based on a virtual front time of 30  $\mu$ s.

#### 4. Caractéristiques relatives à la décharge disruptive et aux tensions d'essais

##### 4.1 Décharge disruptive

Dans la présente recommandation, le terme « décharge disruptive » s'applique d'une façon générale aux phénomènes associés à la défaillance de l'isolation sous une contrainte électrique pendant lesquels la décharge court-circuite complètement l'isolation en essai, réduisant la tension appliquée entre les électrodes à une valeur nulle ou presque nulle. Il s'applique à la rupture électrique des diélectriques solides, liquides et gazeux ainsi qu'à leurs combinaisons.

Les décharges entre des électrodes ou des conducteurs intermédiaires aussi bien que des décharges momentanées peuvent se produire sous tension alternative sans réduire en permanence la tension d'essai à zéro. L'apparition de ces décharges momentanées peut dépendre des caractéristiques du circuit d'essais. Le Comité d'Etudes intéressé doit préciser si cette éventualité constitue ou non une défaillance et si l'essai doit ou non être répété.

Les décharges qui ne court-circuitent pas totalement l'isolation entre les électrodes sont appelées « décharges partielles » et sont traitées dans la Publication 270 de la CEI: Mesure des décharges partielles.

Le terme « amorçage » est utilisé lorsque la décharge disruptive se produit dans un diélectrique gazeux ou liquide.

Le terme « contournement » est utilisé lorsque la décharge disruptive apparaît le long de la surface d'un diélectrique immergé dans un milieu gazeux ou liquide.

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

Une décharge disruptive dans un diélectrique solide occasionne la perte permanente de la rigidité diélectrique de l'objet, tandis que dans les diélectriques liquides ou gazeux cette perte peut n'être que momentanée.

##### 4.2 Valeur de la tension d'essai

La valeur de la tension d'essai est la tension, définie conformément à la Publication 60-2 de la CEI, qu'il est prévu d'appliquer au cours d'un essai.

##### 4.3 Tension de décharge disruptive

Pour la tension continue ou alternative et les tensions de choc coupées sur ou après la crête, la tension de décharge disruptive est la valeur de la tension d'essai produisant une décharge disruptive. En ce qui concerne la définition de cette valeur, voir la Publication 60-2 de la CEI.

Pour les tensions de choc coupées sur le front, la tension de décharge disruptive est la valeur instantanée de la tension au moment où la décharge disruptive se produit (voir également le paragraphe 4.4).

Les tensions de décharge disruptive présentent des variations aléatoires et, habituellement, on doit faire un certain nombre d'essais pour constituer un échantillonnage des valeurs de tension, au sens statistique du terme. Les modalités d'essais, décrites dans la Publication 60-2 de la CEI, sont généralement basées sur des considérations statistiques. La même publication donne aussi des informations sur l'exploitation statistique des résultats d'essais.

##### 4.4 Caractéristiques présumées d'une tension d'essai

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

##### 4.5 Probabilité de décharge disruptive $p$

La probabilité de décharge disruptive est la probabilité pour que l'application d'une certaine tension présumée, d'amplitude et de forme données, produise la décharge disruptive.

#### 4. Characteristics related to disruptive discharge and test voltages

##### 4.1 *Disruptive discharge*

In this recommendation, the term “disruptive discharge” relates to phenomena associated with the failure of insulation under electrical stress, in which the discharge completely bridges the insulation under test, reducing the voltage between the electrodes to zero or nearly to zero. It applies to electrical breakdown in solid, liquid and gaseous dielectrics and to combinations of these.

Discharges between intermediate electrodes or conductors, as well as momentary flashovers (snap-overs), may occur with alternating voltage without permanent reduction of the test voltage to zero. The occurrence of snap-overs may depend on the characteristics of the test circuit. Whether such an occurrence constitutes a failure or not, and whether it requires a repetition of the test, should be decided by the relevant Technical Committee.

Discharges which do not completely bridge the insulation between electrodes are termed “partial discharges” and are dealt with in IEC Publication 270, Partial Discharge Measurements.

The term “sparkover” is used when a disruptive discharge occurs in a gaseous or liquid dielectric.

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

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

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

##### 4.2 *Value of test voltage*

The value of the test voltage is the voltage value, defined according to IEC Publication 60-2, which is to be applied in a test.

##### 4.3 *Disruptive discharge voltage*

For direct voltage, alternating voltage and impulse voltages chopped at or after the crest, the disruptive discharge voltage is the value of the test voltage causing disruptive discharge. For definition of this value, see IEC Publication 60-2.

For impulse voltages chopped on the front, the disruptive discharge voltage is defined as the voltage at the instant when disruptive discharge occurs (see also Sub-clause 4.4).

Disruptive discharge voltages are subject to random variations and, usually, a number of observations must be made in order to obtain a statistically significant value of the voltage. The test procedures, described in IEC Publication 60-2, are generally based on statistical considerations. The same document also gives information on the statistical evaluation of test results.

##### 4.4 *Prospective characteristics of a test voltage*

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

##### 4.5 *Disruptive discharge probability $p$*

The disruptive discharge probability is the probability that the application of a certain prospective voltage value of a given shape will cause disruptive discharge.

#### 4.6 *Probabilité de tenue*

La probabilité de tenue est la probabilité pour que l'objet en essai tienne une application d'une certaine tension présumée; d'amplitude et de forme données. Si  $p$  est la probabilité de décharge disruptive, la probabilité de tenue est ainsi  $(1 - p)$ .

#### 4.7 *Tension de tenue nominale*

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

#### 4.8 *Tension de décharge disruptive assurée*

Une tension de décharge disruptive assurée est une tension spécifiée qui caractérise l'isolation de cet objet en ce qui concerne un essai de tension de décharge disruptive.

#### 4.9 *Tension 50% de décharge disruptive*

La tension 50% de décharge disruptive est la tension présumée à laquelle est associée la probabilité 50% de production d'une décharge disruptive.

#### 4.10 *Tension x% de décharge disruptive*

La tension x% de décharge disruptive est la tension présumée à laquelle est associée la probabilité x% de production d'une décharge disruptive.

### 5. **Classification des isolations**

#### 5.1 *Isolation externe*

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

#### 5.2 *Isolation interne*

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

#### 5.3 *Isolation autorégénératrice*

L'isolation autorégénératrice est l'isolation qui retrouve intégralement ses propriétés isolantes après une décharge disruptive produite par l'application d'une tension d'essai. Dans une telle isolation, les décharges disruptives se produisent généralement, mais pas nécessairement, dans la partie externe de l'isolation.

#### 5.4 *Isolation non autorégénératrice*

L'isolation non autorégénératrice est l'isolation qui perd ses propriétés isolantes, ou ne les retrouve pas intégralement après une décharge disruptive produite par l'application d'une tension d'essai. Dans une telle isolation, les décharges disruptives se produisent généralement, mais pas nécessairement, dans la partie interne de l'isolation.

4.6 *Withstand probability*

The withstand probability is the probability that the test object will withstand one application of a certain prospective voltage value and shape. If the disruptive discharge probability is  $p$ , the withstand probability is  $(1 - p)$ .

4.7 *Rated withstand voltage*

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

4.8 *Assured disruptive discharge voltage*

An assured disruptive discharge voltage is a specified voltage value which characterizes the insulation of the object with regard to a disruptive discharge test.

4.9 *50% disruptive discharge voltage*

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

4.10 *x% disruptive discharge voltage*

The x% disruptive discharge voltage is the prospective voltage value which has x% probability of producing a disruptive discharge.

5. **Classification of insulation**

5.1 *External insulation*

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

5.2 *Internal insulation*

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

5.3 *Self-restoring insulation*

Self-restoring insulation is insulation which completely recovers its insulating properties after a disruptive discharge caused by the application of a test voltage. In insulation of this kind, disruptive discharges generally, but not necessarily, occur in the external part of the insulation.

5.4 *Non-self-restoring insulation*

Non-self-restoring insulation is insulation which loses its insulating properties, or does not recover them completely, after a disruptive discharge caused by the application of a test voltage. In insulation of this kind, disruptive discharges generally, but not necessarily, occur in the internal part of the insulation.

## SECTION TROIS — PRESCRIPTIONS GÉNÉRALES RELATIVES AUX MODALITÉS D'ESSAIS ET AU CONDITIONNEMENT DE L'OBJET EN ESSAI

### 6. Dispositions générales de l'objet en essai

Au moment de l'essai, l'objet en essai doit être complet, avec tous ses accessoires, et il devra avoir subi le traitement normal pour un objet similaire (par exemple, par imprégnation sous vide et traitement thermique).

Les caractéristiques de décharge disruptive de l'objet en essai peuvent être affectées par la disposition d'ensemble de cet objet, par exemple par la distance aux objets voisins, par sa hauteur au-dessus du sol, par la disposition du conducteur d'amenée de tension. Une distance aux structures voisines égale à 1,5 fois le plus court trajet possible de contournement rend généralement ces effets de proximité négligeables. Des distances plus grandes peuvent être nécessaires dans le cas des essais aux chocs de manœuvres ou des essais à très haute tension pour éviter les amorçages aux structures voisines. Dans les essais sous pluie ou sous pollution, ou lorsque la répartition de tension est assez indépendante des influences externes, des distances de garde plus petites peuvent être tolérées à condition qu'aucun amorçage ne se produise aux structures voisines.

### 7. Essais à sec

L'objet en essai devra être sec et propre. Sauf spécification contraire du Comité d'Etudes intéressé, l'essai devra être exécuté à la température ambiante et les modalités d'application de la tension devront être telles que celles spécifiées dans la Publication 60-2 de la CEI.

### 8. Essais sous pluie

La méthode d'essai sous pluie, décrite au paragraphe 8.1, est une révision des méthodes antérieures et a pour but de simuler les effets de pluie naturelle sur l'isolation externe. Cette méthode est recommandée pour les essais avec tous les types de tensions d'essais et tous les types d'appareils, mais voir ci-après.

Deux méthodes antérieures, non conçues pour imiter la pluie naturelle, sont décrites au paragraphe 8.2. Elles ont été utilisées pendant de nombreuses années pour des essais sous tension alternative sur des appareils pour tension de service jusqu'à environ 400 kV et il existe de nombreux résultats obtenus par ces méthodes. Leur emploi n'est recommandé que lorsqu'une comparaison directe avec ces résultats est exigée.

#### 8.1 Modalités révisées des essais sous pluie

L'objet en essai devra être aspergé d'eau ayant une résistivité telle que prescrite, tombant sur lui sous forme de gouttelettes dirigées de telle façon que les composantes verticales et horizontales du jet soient approximativement égales. Ces intensités sont mesurées à l'aide d'un récipient à deux compartiments ayant deux ouvertures de 100 cm<sup>2</sup> à 750 cm<sup>2</sup>, une horizontale et l'autre verticale, cette dernière étant orientée vers les jets d'aspersion. Une autre pratique, généralement moins précise, consiste à ne mesurer que la composante verticale et à évaluer à l'œil que l'angle est approximativement de 45°.

Le récipient devra être placé près de l'objet en essai mais en évitant qu'il reçoive des éclaboussures venant de l'objet. Pendant la période de mesure, on devra déplacer lentement le récipient sur une surface assez large pour obtenir la moyenne de la précipitation non uniforme des gicleurs individuels.

### SECTION THREE — GENERAL REQUIREMENTS RELATING TO TEST PROCEDURE AND TEST OBJECTS

#### 6. General arrangement of the test object

At the time of a test, the test object shall be complete in all essential details, and it should have been processed in the normal manner for similar equipment (for instance by vacuum impregnation and thermal treatment).

The disruptive discharge characteristics of a test object may be affected by its general arrangement, for example by its clearance from external structures, its height above ground level, the arrangement of the high voltage lead. A clearance to external structures equal to 1.5 times the length of the shortest possible discharge path on the test object usually makes such proximity effects insignificant. Larger clearances may be required in the cases of switching impulse tests or in tests at very high voltage, to avoid sparkovers to extraneous structures. In wet tests or pollution tests, or wherever the voltage distribution in the test object is sufficiently independent of external influences, smaller clearances may be acceptable provided that flashovers do not occur to extraneous structures.

#### 7. Dry tests

The test object should be dry and clean. If not otherwise specified by the relevant Technical Committee, the test should be made at ambient temperature and the procedure for voltage application should be as specified in IEC Publication 60-2.

#### 8. Wet tests

The wet test method, described in Sub-clause 8.1, is intended to simulate the effect of natural rain on external insulation and is a revision of earlier test methods. It is recommended for tests with all types of test voltages, and on all types of apparatus, but see below.

Two earlier test methods, not intended to simulate natural rain, are described in Sub-clause 8.2. These have been in use for many years for tests with alternating voltage on apparatus up to about 400 kV system voltage and many test data exist obtained by these methods. Their use is recommended only when direct comparison with such data is required.

##### 8.1 *Revised wet test procedure*

The test object should be sprayed with water of prescribed resistivity, falling on it as droplets and directed so that the vertical and horizontal components of the spray intensity are approximately equal. These intensities are measured with a divided collecting vessel having openings of 100 cm<sup>2</sup> to 750 cm<sup>2</sup>, one horizontal and one vertical, the vertical opening facing the spray. Another less accurate practice is to measure only the vertical component and to judge by eye that the spray is falling at an angle of approximately 45°.

The collecting vessel should be placed close to the test object, but avoiding the collection of drops or splashes from it. During the measuring period, it should be moved slowly over a sufficient area to average out the effect of non-uniformities of the spray from individual nozzles.

Pour les objets en essai dont la hauteur dépasse un mètre, on devra exécuter ces mesures vers le haut, le milieu et le bas de l'objet. Des modalités similaires devront être appliquées aux objets en essai de grandes dimensions horizontales.

Le dispositif d'aspersion doit être réglé pour produire sur l'objet en essai les caractéristiques d'aspersion données dans le tableau I avec les tolérances spécifiées. On peut utiliser divers types et diverses dispositions de gicleurs répondant aux prescriptions du tableau I. Les figures 1a et 1b, page 34, et la figure 1c, page 35, donnent l'exemple de plusieurs gicleurs qui ont donné satisfaction à l'usage, ainsi que leurs caractéristiques respectives. On peut asperger à des distances plus grandes si les gicleurs sont orientés avec un angle de 15°-25° au-dessus de l'horizontale. Noter que si l'on dépasse les pressions d'eau recommandées, le jet d'eau peut se diviser prématurément, donnant une aspersion non satisfaisante de l'objet en essai.

TABLEAU I  
*Caractéristiques d'aspersion (modalités d'essais révisées)*

|                                                                                   |            |                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------------------|
| Taux d'aspersion moyen de toutes les mesures :                                    |            |                               |
| — composante verticale                                                            | mm/min     | 1,0 à 1,5                     |
| — composante horizontale                                                          | mm/min     | 1,0 à 1,5                     |
| Valeurs extrêmes pour chaque mesure isolée et pour chaque composante              |            |                               |
|                                                                                   | mm/min     | 0,5 à 2,0                     |
| Température de l'eau recueillie pour la mesure                                    | °C         | Température ambiante $\pm$ 15 |
| Résistivité de l'eau recueillie ramenée à 20 °C (voir note ci-après)              | $\Omega$ m | 100 $\pm$ 15                  |
| (Pour les corrections de la résistivité de l'eau à 20 °C, voir figure 2, page 37) |            |                               |

*Note.* — Dans le cas des chocs de manœuvres, si on ne peut pas obtenir la valeur requise pour la résistivité de l'eau, on peut utiliser une valeur plus faible, mais la valeur utilisée doit être mentionnée dans le rapport d'essais.

En premier lieu, l'objet en essai devra être pré-aspergé pendant au moins 15 min dans les conditions spécifiées ci-dessus et ces conditions devront être maintenues à l'intérieur des tolérances spécifiées pendant tout l'essai. Ce temps de pré-aspersion peut comprendre le temps nécessaire aux réglages et peut être réduit si on utilise des moyens spéciaux donnant un mouillage effectif de l'objet ou si on doit exécuter des essais répétés à de courts intervalles de temps.

Sauf s'il en est spécifié autrement par le Comité d'Etudes intéressé, la modalité des essais sous pluie devra être identique à celle spécifiée dans la Publication 60-2 de la CEI pour les essais correspondants à sec. En général, pour tous les essais de tenue sous pluie et sous tension alternative ou continue, il est recommandé d'admettre un amorçage à condition que pendant les essais suivants aucun amorçage ne se produise.

## 8.2 Modalités traditionnelles d'essais sous pluie sous tension alternative

Pour les essais sous tension alternative, deux autres méthodes dont les détails sont donnés dans le tableau II sont également en usage. Elles diffèrent des modalités révisées du paragraphe 8.1 principalement par le fait que le taux d'aspersion est plus grand et que le temps de pré-aspersion est de une minute seulement.

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

In the case of test objects with a height exceeding one metre, such measurements should be made near the top, centre and bottom of the object. A similar procedure should be used for test objects with large horizontal dimensions.

The spray apparatus must be adjusted to produce, within the specified tolerances, precipitation conditions at the test object given in Table I. Any type and arrangement of nozzles meeting the requirements given in Table I may be used. Examples of several nozzles which have been found satisfactory in practice are shown in Figures 1a and 1b, page 34, and Figure 1c, page 35, together with typical performance data for each type. Greater spray distances may be obtained if the nozzles are directed upward at an angle of about 15°-25° to the horizontal. Note that if the water pressure is increased above the recommended limits, the water jets may break up prematurely and cause an unsatisfactory spray at the test object.

TABLE I  
*Precipitation conditions (revised test procedure)*

|                                                                       |                  |                              |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------|
| Average precipitation rate for all measurements:                      |                  |                              |
| — vertical component                                                  | mm/min           | 1.0 to 1.5                   |
| — horizontal component                                                | mm/min           | 1.0 to 1.5                   |
| Limits for any individual measurements and for each component         | mm/min           | 0.5 to 2.0                   |
| Temperature of collected water                                        | °C               | Ambient temperature $\pm 15$ |
| Resistivity of collected water corrected to 20 °C (see note below)    | $\Omega\text{m}$ | 100 $\pm 15$                 |
| (For correction of water resistivity to 20 °C, see Figure 2, page 37) |                  |                              |

*Note.* — For switching impulses, if the prescribed water resistivity cannot be obtained, a lower value may be used but the actual value must be stated in the test report.

The test object should be pre-wetted initially for at least 15 min under the above specified conditions and these conditions should remain within the specified tolerances throughout the test. The pre-wetting time may include the time needed for adjustment of the spray and may be reduced if special means are used to ensure effective wetting or when repeat tests are made after short intervals.

Unless otherwise specified by the relevant Technical Committee, the test procedure for wet tests should be the same as that specified in IEC Publication 60-2 for the corresponding dry tests. In general, for all alternating and direct voltage wet withstand tests, it is recommended that one flashover should be permitted provided that in a repeat test no further flashover occurs.

## 8.2 Conventional procedures for wet tests with alternating voltage

For alternating voltage tests, two other procedures are also in use, details of which are given in Table II. They differ from the revised procedure, Sub-clause 8.1, primarily in that the precipitation rates are higher and that the minimum pre-wetting time is only one minute.

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

TABEAU II

*Caractéristiques d'aspersion (modalités traditionnelles) pour essais sous pluie sous tension alternative*

| Caractéristiques                                                                                                                             |            | Pratique européenne                                                           | Pratique américaine                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Taux d'aspersion moyen pour chaque mesure:<br>— composante verticale                                                                         | mm/min     | $3 \pm 0,3$                                                                   | $5 \pm 0,5$                                 |
| Valeurs extrêmes pour chaque mesure isolée                                                                                                   | mm/min     | $3 \pm 0,75$                                                                  | $5 \pm 1,25$                                |
| Température de l'eau recueillie                                                                                                              | °C         | Température ambiante $\pm 15$                                                 | Température ambiante $\pm 15$               |
| Résistivité de l'eau recueillie ramenée à 20 °C<br>(Pour les corrections concernant la résistivité de l'eau à 20 °C, voir figure 2, page 37) | $\Omega m$ | $100 \pm 10$                                                                  | $178 \pm 27$                                |
| Type de gicleur                                                                                                                              |            | Comme représenté dans les figures 1a et 1b, page 34, et la figure 1c, page 35 | Comme représenté dans la figure 1d, page 36 |
| Durée de l'essai de tenue sous pluie                                                                                                         | s          | 60                                                                            | 10                                          |

## 9. Essais sous pollution artificielle

Les essais sous pollution artificielle ont pour but de donner une information sur le comportement de l'isolation externe sous des conditions représentatives de la pollution en service, bien qu'elles ne reproduisent pas forcément des conditions particulières de service.

Les spécifications suivantes donnent quelques indications générales sur les essais sous pollution artificielle. Le Comité d'Etudes intéressé pourra introduire des variantes ou bien donner des spécifications plus précises en ce qui concerne certaines catégories d'appareils. Une telle information spécifique est donnée dans la Publication 507 de la CEI: Essais sous pollution artificielle des isolateurs pour haute tension destinés aux réseaux à courant alternatif, préparée par le Comité d'Etudes N° 36 de la CEI. Elle est publiée sous la forme d'un rapport CEI car il a été jugé nécessaire d'acquérir plus d'expérience en comparant les résultats d'essais avec ceux obtenus en service.

Le lavage des isolateurs en service par la pluie naturelle n'est pris en considération par aucune des modalités spécifiées.

### 9.1 Préparation de l'objet en essai

Avant d'essayer un objet pour la première fois, les parties métalliques ainsi que les ciments de scellement peuvent être recouverts d'une peinture protectrice afin que les produits de corrosion ne contaminent pas les surfaces isolantes pendant un essai.

L'objet en essai sera ensuite nettoyé avec précaution en utilisant l'eau du robinet mélangée à du phosphate trisodique ( $Na_3PO_4$ ) et rincé à l'eau du robinet. Ensuite, il ne doit plus être touché à la main. Normalement, les surfaces isolantes peuvent être considérées comme suffisamment propres et dégraissées ou décontaminées si de grandes surfaces humides peuvent être observées pendant le mouillage.

Le Comité d'Etudes intéressé décidera si un objet doit être essayé verticalement, horizontalement ou en position inclinée.

TABLE II

*Precipitation conditions (conventional procedures) for wet tests with alternating voltage*

| Characteristics                                                       |                  | European practice                                              | Practice in U.S.A.             |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Average precipitation rate for each measurement                       |                  |                                                                |                                |
| — vertical component                                                  | mm/min           | $3 \pm 0.3$                                                    | $5 \pm 0.5$                    |
| Limits for any individual measurement                                 | mm/min           | $3 \pm 0.75$                                                   | $5 \pm 1.25$                   |
| Temperature of collected water                                        | °C               | Ambient temperature $\pm 15$                                   | Ambient temperature $\pm 15$   |
| Resistivity of collected water corrected to 20 °C                     | $\Omega\text{m}$ | $100 \pm 10$                                                   | $178 \pm 27$                   |
| (For correction of water resistivity to 20 °C, see Figure 2, page 37) |                  |                                                                |                                |
| Type of nozzle                                                        |                  | As shown in Figures 1a and 1b, page 34, and Figure 1c, page 35 | As shown in Figure 1d, page 36 |
| Duration of wet withstand test                                        | s                | 60                                                             | 10                             |

## 9. Artificial pollution tests

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

The following specifications give some general guidance on artificial pollution testing. It is left to the relevant Technical Committee to introduce variations or to give more specific requirements for particular classes of apparatus. Such specific information is given in IEC Publication 507, Artificial Pollution Tests on High-Voltage Insulators to Be Used on a.c. Systems, prepared by IEC Technical Committee No. 36. It has been published in the form of an IEC Report, since it was considered necessary to acquire more experience by comparing test results with those obtained in service.

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

### 9.1 Preparation of test object

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

The test object should then be carefully cleaned by washing with tap water to which trisodium phosphate ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ) has been added and rinsed with clean tap water. It shall not subsequently be touched by hand. Usually the insulating surfaces can be considered sufficiently clean and free of grease or other contaminating material if large continuous wet areas are observed during wetting.

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

## 9.2 Modalités d'essai

Les essais sous pollution artificielle comprennent l'application de la pollution et celle, simultanée ou subséquente, de la tension. Généralement, seules les méthodes dans lesquelles la tension d'essai est maintenue constante pendant au moins plusieurs minutes sont recommandées. Les autres méthodes, dans lesquelles la tension est augmentée graduellement jusqu'au contournement, ne sont pas proposées pour la normalisation mais peuvent être utilisées pour des applications particulières.

L'essai sous pollution peut être exécuté soit pour déterminer le degré de pollution admissible sur l'objet en essai pour une certaine tension de tenue, soit pour déterminer la tension de tenue d'un degré de pollution spécifié. Dans le but de comparer les résultats de plusieurs essais ou les performances de plusieurs objets, la première méthode est préférable. Quelle que soit la modalité d'essai retenue, le nombre de mesures devra être suffisant pour obtenir les valeurs moyennes convenables et pouvant se répéter compte tenu de la nature statistique du phénomène.

Les essais sous pollution se divisent en deux catégories, la méthode du brouillard salin et la méthode de la pollution prédéposée.

### a) La méthode du brouillard salin

L'objet en essai est placé dans une chambre spéciale qui peut être remplie de brouillard salin. Un exemple de méthode pour produire le brouillard est décrit à l'annexe A. La température ambiante dans la chambre au début de l'essai ne devra être ni inférieure à 5 °C, ni supérieure à 30 °C et l'objet en essai doit être en équilibre thermique avec la température ambiante.

L'objet en essai est soigneusement humidifié avec l'eau du robinet. Le dispositif de brouillard salin, alimenté avec de l'eau à la salinité prescrite, est démarré pendant que l'objet en essai est encore humide et, simultanément, la tension est appliquée à l'objet en essai, augmentée rapidement jusqu'à la valeur spécifiée et maintenue constante pendant la durée spécifiée, généralement une heure, ou jusqu'à ce que le contournement se produise. Généralement, ce processus est répété plusieurs fois. Avant chaque processus, l'objet en essai sera nettoyé soigneusement avec de l'eau du robinet afin d'enlever toute trace de sel.

Lorsque l'essai est destiné à déterminer le degré maximal de salinité correspondant à une tension de tenue spécifiée, le processus doit être répété avec différentes salinités.

Le préconditionnement de l'objet en essai à l'aide de plusieurs contournements pendant l'application de la pollution est recommandé avant le début de l'essai réel. Ce préconditionnement doit également être suivi d'un lavage.

### b) La méthode de la pollution prédéposée

L'objet en essai est recouvert par une couche raisonnablement uniforme du produit conducteur en suspension et peut ensuite être mis à sécher. Il est alors placé habituellement dans une chambre d'essais particulière. La température ambiante dans la chambre au début de l'essai ne devra être ni inférieure à 5 °C, ni supérieure à 30 °C et l'objet en essai devra être en équilibre thermique avec l'ambiante. La couche est humidifiée jusqu'à ce que sa résistivité superficielle atteigne la valeur minimale, la tension est appliquée immédiatement après (mais voir note ci-après), augmentée jusqu'à la valeur spécifiée et maintenue constante pendant la durée spécifiée, généralement 15 min ou jusqu'à ce que le contournement se produise. Des exemples d'un dépôt et de processus d'humidification convenables sont donnés à l'annexe B et celui d'une mesure de la résistivité superficielle à l'annexe C.

Le processus ci-dessus peut être répété plusieurs fois; avant chaque processus, l'objet en essai devra être mis à sécher et devra ensuite être humidifié. Cependant, si la résistivité superficielle s'est modifiée d'une façon significative, l'objet en essai devra être lavé et le processus de dépôt répété.

## 9.2 Test procedures

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

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

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

### a) The saline fog method

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

The test object is thoroughly wetted with clean tap water. The saline fog system, supplied by water of the prescribed salinity, is started when the test object is still wet and, simultaneously, the voltage is applied to the test object, raised rapidly to the specified value and kept constant during the specified time, usually one hour, or until flashover occurs. Usually, this procedure is repeated several times. Before each procedure the test object is thoroughly washed with clean tap water to remove any trace of salt.

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

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

### b) The pre-deposited pollution method

The test object is coated with a reasonably uniform layer of a conductive suspension, and may then be permitted to dry. The test object is then usually placed in a special test chamber. The ambient temperature in the chamber at the start of the test should not be less than 5 °C nor greater than 30 °C and the test object should be in thermal equilibrium with the ambient. The layer is wetted until its surface resistivity reaches the minimum value, the voltage is applied immediately thereafter (but see note overleaf), raised to the specified value and kept constant during the specified time, usually 15 min or until flashover occurs. Examples of suitable coating and wetting procedures are given in Appendix B and of the measurement of the surface resistivity in Appendix C.

The procedure above may be repeated several times; before each time, the test object should be allowed to dry and should then be re-wetted. If, however, the surface resistivity has changed significantly, the test object should be washed and the coating procedure repeated.

Lorsque l'essai est destiné à déterminer le degré maximal de pollution correspondant à une tension de tenue donnée, le dépôt, le processus d'humidification et l'essai doivent être répétés avec des suspensions de différentes résistivités.

En variante, il existe des méthodes dans lesquelles le matériau constituant le dépôt retient l'humidité pendant la durée de l'essai et, par conséquent, ne nécessite pas d'humidification ultérieure (voir annexe B).

*Note.* — Il existe aussi des méthodes de pollution prédéposée dans lesquelles une tension constante est appliquée à l'objet en essai avant l'humidification.

### 9.3 Degré de la pollution

Le degré de pollution d'un objet en essai peut être spécifié soit par la résistivité superficielle, soit par la quantité de matière conductrice par  $\text{cm}^2$  de surface isolante. Des indications concernant ces méthodes sont données à l'annexe C.

## 10. Conditions atmosphériques

### 10.1 Facteurs de correction atmosphérique

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

En appliquant les facteurs de correction, une tension de contournement mesurée peut être convertie à la valeur qui aurait été obtenue sous les conditions atmosphériques de référence. Réciproquement, une tension d'essai spécifiée pour les conditions de référence peut être convertie en la valeur équivalente dans les conditions régnant au cours de l'essai.

Il existe deux facteurs de correction :

- le facteur de correction de densité de l'air  $k_d$  (voir paragraphe 10.3);
- le facteur de correction de l'humidité  $k_h$  (voir paragraphe 10.3).

La tension de décharge disruptive est proportionnelle à  $k_d/k_h$ .

Sauf spécification contraire du Comité d'Etudes intéressé, la tension à appliquer pendant un essai de tenue d'une isolation externe est calculée en multipliant la tension de tenue spécifiée par  $k_d/k_h$ . De même, les tensions de décharge disruptive sont ramenées aux conditions atmosphériques normales en divisant par  $k_d/k_h$ .

Il est laissé au Comité d'Etudes intéressé le soin de décider si les corrections doivent ou non être appliquées aux valeurs de tension dans les cas comprenant à la fois des isolations externes et internes. Le rapport d'essai doit toujours mentionner les conditions atmosphériques réelles au cours de l'essai et il doit préciser si les corrections ont été ou non appliquées.

### 10.2 Atmosphère normale de référence

L'atmosphère normale de référence est :

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

Pression  $b_0 = 101,3 \times 10^5\text{ N/m}^2$  (1 013 mbar)

Humidité  $h_0 = 11\text{ g d'eau par m}^3$ .

*Note.* — Une pression de 1 013 mbar correspond à une hauteur barométrique de 760 mm de mercure à  $0\text{ }^\circ\text{C}$ . Si la hauteur barométrique est  $H$  mm de mercure et la température est  $t\text{ }^\circ\text{C}$ , la pression atmosphérique en millibars est :

$$b = \frac{1\,013}{760} H (1 - 1,8 \times 10^{-4} \times t)$$

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

As a variation of the above, methods are in use in which the coating material retains the moisture during the period of test and thus does not necessitate a subsequent wetting (see Appendix B).

*Note.* — Pre-deposited pollution methods are also in use in which constant voltage is applied to the test object before the wetting.

### 9.3 Degree of pollution

The degree of pollution of a test object can be specified either by the surface resistivity or by the amount of conductive matter per cm<sup>2</sup> of the insulating surface. Information about these methods is given in Appendix C.

## 10. Atmospheric conditions

### 10.1 Atmospheric correction factors

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

By applying correction factors, a measured flashover voltage may be converted to the value which would have been obtained under the reference atmospheric conditions. Conversely, a test voltage specified for the reference conditions can be converted into the equivalent value under the prevailing test conditions.

There are two correction factors:

- the air density correction factor  $k_d$  (see Sub-clause 10.3);
- the humidity correction factor  $k_h$  (see Sub-clause 10.3).

The disruptive discharge voltage is proportional to  $k_d/k_h$ .

If not otherwise specified by the relevant Technical Committee, the voltage to be applied during a withstand test on external insulation is determined by multiplying the specified withstand voltage by  $k_d/k_h$ . Similarly, measured disruptive discharge voltages are corrected to those applicable for standard reference atmosphere by dividing by  $k_d/k_h$ .

It is left to the relevant Technical Committee to decide whether or not corrections have to be applied to the voltage values in those cases where both external and internal insulations are involved. The test report should always contain the actual atmospheric conditions during the test and it must be indicated whether corrections have been applied or not.

### 10.2 Standard reference atmosphere

The standard reference atmosphere is:

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

Pressure  $b_0 = 101.3 \times 10^5\text{ N/m}^2$  (1 013 mbar)

Humidity  $h_0 = 11\text{ g water per m}^3$ .

*Note.* — A pressure of 1 013 mbar corresponds to a height of 760 mm in a mercury barometer of 0 °C. If the height of the barometer is  $H$  mm of mercury and the temperature is  $t$  °C, the atmospheric pressure in millibar is:

$$b = \frac{1\,013}{760} H (1 - 1.8 \times 10^{-4} \times t)$$

### 10.3 Facteurs de correction de densité de l'air et de l'humidité

Si la pression atmosphérique  $b$  est exprimée en millibars et la température  $t$  en degrés Celsius, le facteur de correction de densité de l'air devient:

$$k_a = \left(\frac{b}{b_0}\right)^m \times \left(\frac{273 + t_0}{273 + t}\right)^n$$

De façon semblable, le facteur de correction de l'humidité est:

$$k_h = (k)^w$$

La constante  $k$  est donnée dans la figure 3, page 38, en fonction de l'humidité absolue, les courbes a ou b étant utilisées selon la nature de la tension. Les exposants  $m$ ,  $n$  et  $w$  dépendent de la nature et de la polarité de la tension ainsi que de la distance d'amorçage  $d$ , comme indiqué dans le tableau III et à la figure 4, page 38. En l'absence d'autre information,  $m$  et  $n$  sont considérés de valeur identique.

Les symboles du tableau III sont:

|                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                               |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | Intervalles donnant un champ essentiellement uniforme.                                                                                                                                                                                        |
|   | Intervalles pointe-pointe et isolateurs de suspension, c'est-à-dire électrodes donnant un champ non uniforme, mais avec une distribution de tension essentiellement symétrique.                                                               |
|  | Intervalles pointe-plan et objets en essai ayant des caractéristiques similaires tels que les isolateurs supports; c'est-à-dire électrodes donnant un champ non uniforme avec une distribution de tension présentant une asymétrie prononcée. |

Pour toute disposition d'électrode n'entrant pas dans une des classes ci-dessus, seulement le facteur de correction de densité de l'air, utilisant les exposants  $m=n=1$ , et pas de correction d'humidité, devrait être appliqué.

Aucune correction d'humidité ne devra être appliquée dans le cas des essais sous pluie ou sous pollution artificielle. Le problème de la correction de densité de l'air au cours de tels essais est à l'étude.

*Note.* — Dans le tableau III et les figures 3 et 4, une simplification de l'information existante est présentée. Les données expérimentales provenant de différentes sources montrent toujours de grandes dispersions et sont souvent en contradiction; d'ailleurs, l'information pertinente pour les tensions continues et pour les surtensions de manœuvres est rare. La validité de l'utilisation des exposants égaux  $m$  et  $n$ , et leur valeur numérique telle que donnée, est donc incertaine.

### 10.4 Mesure de l'humidité

La mesure de l'humidité est faite habituellement à l'aide d'un hygromètre composé de deux thermomètres précis et ventilés, l'un étant sec, l'autre humide. L'humidité absolue, fonction de la lecture des deux thermomètres, est déterminée à partir de la figure 5, page 39, qui permet également de déterminer l'humidité relative. Il est important de fournir un débit d'air suffisant pour atteindre des lectures stables et de lire soigneusement les thermomètres afin d'éviter des erreurs excessives dans la détermination de l'humidité.

D'autres méthodes pour la détermination de l'humidité sont disponibles et peuvent être utilisées s'il peut être démontré qu'elles donnent une précision suffisante.

### 10.3 Air density and humidity correction factors

If the atmospheric pressure  $b$  is expressed in millibars and the temperature  $t$  in degrees Celsius, the air density correction factor becomes:

$$k_d = \left(\frac{b}{b_0}\right)^m \times \left(\frac{273 + t_0}{273 + t}\right)^n$$

Similarly, the humidity correction factor is:

$$k_h = (k)^w$$

The constant  $k$  is given in Figure 3, page 38, as a function of absolute humidity, curve a or b being applicable according to the type of voltage. The exponents  $m$ ,  $n$  and  $w$  depend on the type and polarity of the voltage and on the flashover distance  $d$  as given in Table III and Figure 4, page 38. Lacking more precise information,  $m$  and  $n$  are assumed to be equal.

The symbols of Table III are:

|                                                                                    |                                                                                                                                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | Gaps giving an essentially uniform field.                                                                                                                                                    |
|   | Rod-rod gaps and suspension insulators; that is, electrodes giving a non-uniform field, but with essentially symmetrical voltage distribution.                                               |
|  | Rod plane gaps and test objects with similar characteristics such as support insulators; that is, electrodes giving a non-uniform field with a pronounced asymmetrical voltage distribution. |

For any electrode arrangement not falling into one of the above classes, only the air density correction factor, using exponents  $m=n=1$ , and no humidity correction, should be applied.

No humidity correction should be applied for wet tests or for tests under artificial pollution. The question of density correction during such tests is under consideration.

*Note.* — In Table III and Figures 3 and 4, a simplification of the existing information is given. The available experimental data from different sources always show large dispersions and are often conflicting; moreover relevant information for direct voltages and for switching impulses is scarce. The correctness of using equal exponents  $m$  and  $n$ , and of their numerical values as given, is therefore uncertain.

### 10.4 Measurement of humidity

The measurement of humidity is usually made by means of a hygrometer consisting of two ventilated accurate thermometers, one being dry, the other wetted. The absolute humidity as a function of the two thermometer readings is determined by Figure 5, page 39, which also permits a determination of the relative humidity. It is important to provide adequate air flow, to reach steady-state values of the readings and to read the thermometers carefully, in order to avoid excessive errors in the determination of humidity.

Other methods for the determination of the humidity are available and may be used if it can be demonstrated that they give sufficient accuracy.

TABLEAU III

Application des facteurs de correction atmosphérique

| Type de tension d'essai      | Forme d'électrode                                                                   | Polarité | Correction de densité de l'air        | Correction de l'humidité          |                   |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------------------------------|-----------------------------------|-------------------|
|                              |                                                                                     |          | Exposants m et n (voir note ci-après) | Facteur k                         | Exposant w        |
| Tension continue             |    | +        | 1,0                                   | Voir figure 3, page 38 (courbe b) | 0                 |
|                              |    | +        |                                       |                                   | 1,0               |
|                              |    | +        |                                       |                                   | 1,0               |
| Tension alternative          |    | ~        | 1,0                                   | Voir figure 3 (courbe a)          | 0                 |
|                              |    | ~        | Voir figure 4, page 38                |                                   | Voir figure 4     |
|                              |  | ~        | Voir figure 4                         |                                   | Voir figure 4     |
| Tension de choc de foudre    |  | +        | 1,0                                   | Voir figure 3 (courbe b)          | 0                 |
|                              |  | +        |                                       |                                   | 1,0               |
|                              |  | +        |                                       |                                   | 0,8               |
| Tension de choc de manœuvres |  | +        | 1,0                                   | Voir figure 3 (courbe b)          | 0                 |
|                              |  | +        | 1,0                                   |                                   | 0                 |
|                              |  | +        | Voir figure 4 0 *                     |                                   | Voir figure 4 0 * |
|                              |  | +        | Voir figure 4 0 *                     |                                   | Voir figure 4 0 * |

\* Très peu d'informations sont disponibles. Pour le moment, aucune correction n'est recommandée.

TABLE III  
Application of atmospheric correction factors

| Type of test voltage      | Electrode form                                                                      | Polarity | Air density correction             | Humidity correction             |                     |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------|
|                           |                                                                                     |          | Exponents m and n (see note below) | Factor k                        | Exponent w          |
| Direct voltage            |    | +        | 1.0                                | See Figure 3, page 38 (curve b) | 0                   |
|                           |    | —        |                                    |                                 | 0                   |
|                           |    | +        |                                    |                                 | 1.0                 |
|                           |    | —        |                                    |                                 | 1.0                 |
| Alternating voltage       |    | ~        | 1.0                                | See Figure 3 (curve a)          | 0                   |
|                           |    | ~        | See Figure 4, page 38              |                                 | See Figure 4        |
|                           |    | ~        | See Figure 4                       |                                 | See Figure 4        |
|                           |    | ~        | See Figure 4                       |                                 | See Figure 4        |
| Lightning impulse voltage |    | +        | 1.0                                | See Figure 3 (curve b)          | 0                   |
|                           |    | —        |                                    |                                 | 0                   |
|                           |  | +        |                                    |                                 | 1.0                 |
|                           |  | —        |                                    |                                 | 0.8                 |
| Switching impulse voltage |  | +        | 1.0                                | See Figure 3 (curve b)          | 0                   |
|                           |  | —        | 1.0                                |                                 | 0                   |
|                           |  | +        | See Figure 4<br>0 *                |                                 | See Figure 4<br>0 * |
|                           |  | —        | See Figure 4<br>0 *                |                                 | See Figure 4<br>0 * |

\* Very little information is available. At present no correction is recommended.

## ANNEXE A

### PRODUCTION DU BROUILLARD SALIN

Dans cette annexe sont donnés, à titre d'exemple, des détails concernant un moyen de production de brouillard salin pour essais sous pollution artificielle par la méthode du brouillard salin.

#### A.1 Préparation de la solution saline

La solution saline devra être obtenue en dissolvant la quantité voulue de sel marin (NaCl) de pureté commerciale dans l'eau du robinet. La concentration devra être à  $\pm 5\%$  près d'une des valeurs suivantes: 2,5 g, 3,5 g, 5 g, 7 g, 10 g, 14 g, 20 g, 28 g, 40 g, 56 g, 80 g, 112 g, 160 g ou 224 g de sel par litre de solution.

La concentration peut être déterminée soit par la mesure de la résistivité de la solution, soit par la mesure de la densité de la solution saline. Les figures 6 et 7, pages 40 et 41, donnent respectivement les valeurs de la résistivité et de la densité en fonction de la concentration en sel pour 10 °C, 20 °C et 30 °C. (Voir figure 2, page 37, pour une plus grande plage de variation de la résistivité avec la température.) La mesure de la densité pour les concentrations inférieures ou égales à 20 g/l n'est cependant pas recommandée, à cause de la grande précision que réclament ces mesures pour que les résultats restent dans les tolérances spécifiées.

#### A.2 Détails concernant le dispositif de pulvérisation

Le brouillard est produit dans une chambre d'essai au moyen d'un certain nombre de pulvérisateurs. Un modèle d'usage courant est représenté à la figure 8, page 42, et est décrit ci-dessous. Chaque pulvérisateur possède deux ajutages, l'un pour l'air, l'autre pour la solution saline. Le jet d'air s'écoulant sur le bec de l'ajutage de solution produit un fin brouillard de solution.

Les ajutages d'air devront être alimentés avec de l'air filtré, débarrassé de vapeurs d'huile et comprimé à la pression de 7 bars au-dessus de la pression atmosphérique avec une tolérance de  $\pm 4\%$ .

Les ajutages de solution devront être alimentés par la solution saline spécifiée à une pression telle que le débit de chaque ajutage soit de 0,5 l/min  $\pm 10\%$  pendant la durée de l'essai; si l'ajutage d'air n'est pas alimenté, la tolérance sur le débit total de l'ensemble des ajutages est de  $\pm 5\%$  de la valeur nominale. Par conséquent, la pression d'alimentation de la solution doit rester constante pendant toute la durée de l'essai.

Les pulvérisateurs, séparés de 0,6 m, sont installés sur deux files rectilignes, parallèles à l'axe central de l'objet en essai (une de chaque côté), chaque file étant à environ 3 m de lui et dans le même plan, avec les pulvérisateurs de chaque file dirigés vers l'autre file. Chaque file devra dépasser d'au moins 0,6 m les extrémités de la section isolée de l'objet en essai; ce dernier est monté verticalement, horizontalement ou incliné tel que prescrit par le Comité d'Etudes intéressé, mais il devra être placé de telle façon que le pulvérisateur le plus bas soit au moins à 0,6 m du plancher.

*Notes 1.* — Il a été démontré que la distance de chaque file de pulvérisateurs à l'axe de l'objet en essai a une influence significative sur les résultats mesurés. Cependant, pour des variations de  $\pm 30$  cm par rapport à la distance spécifiée ci-dessus, cet effet n'est pas important.

*2.* — La façon de procéder décrite ci-dessus a été utilisée avec succès pour les isolateurs ou objets semblables pour des tensions d'essai jusqu'à environ 600 kV valeur efficace. Cependant, pour les essais d'objets de très grandes dimensions et pour les essais à des tensions supérieures, il peut être nécessaire de modifier le dispositif ci-dessus. En particulier, il peut être nécessaire d'utiliser plus de deux files de pulvérisateurs et d'augmenter les distances de garde. Dans de tels cas, il est recommandé de faire la mesure du degré de pollution de l'objet en essai (voir annexe C).

## APPENDIX A

### PRODUCTION OF SALINE FOG

In this appendix, details are given as an example of one way of producing saline fog for artificial pollution tests made by the saline fog method.

#### A.1 Preparation of salt solution

The salt solution should be made up to the required salinity from sodium chloride (NaCl) of commercial purity and ordinary tap water. The concentration should be within  $\pm 5\%$  of one of the following values: 2.5 g, 3.5 g, 5 g, 7 g, 10 g, 14 g, 20 g, 28 g, 40 g, 56 g, 80 g, 112 g, 160 g or 224 g per litre of solution.

The concentration may be determined by measuring either the resistivity or the density of the salt solution. Figures 6 and 7, pages 40 and 41, give the values of the resistivity and the density respectively as functions of the salt concentration at 10 °C, 20 °C and 30 °C. (See Figure 2, page 37, for a larger range of variation of resistivity with temperature.) The measurement of density for concentrations of 20 g/l or less is not recommended however, because for this measurement, a very high degree of accuracy is necessary to determine the concentration within the specified tolerance.

#### A.2 Details of spraying system

The fog is produced in a test chamber by means of a number of jets. One type in common use is shown in Figure 8, page 42, and is described in detail below. Each jet has two nozzles, one acting as an air outlet and the other as an outlet for the salt solution. The compressed air thus flows across the solution nozzle and produces a fine mist of the solution.

The air nozzles should be provided with filtered, oil-free air at 7 bars above the atmospheric pressure, with a tolerance of  $\pm 4\%$ .

The solution nozzles should be supplied with the specified salt solution at a pressure adjusted so that the flow of the solution through each nozzle, with no air passing through the air nozzle, is 0.5 l/min  $\pm 10\%$  for the period of the test; the tolerance on the total flow to all spray jets is  $\pm 5\%$  of the nominal value. Consequently, the solution pressure must also be kept constant throughout a test.

The jets are mounted 0.6 m apart in two straight rows, parallel to the centre line of the test object (one on each side), each row being about 3 m from it and in the same plane, with the jets in each row directed towards one another. Each row should extend at least 0.6 m beyond the ends of the insulating section of the test object; the latter is mounted vertically, horizontally or inclined as prescribed by the relevant Technical Committee, but should be so placed that the lowest jet is at least 0.6 m above the floor.

*Notes 1.* — It has been demonstrated that the distance of each row of jets from the axis of the test object significantly influences the measured test results. However, for variations up to  $\pm 30$  cm from the distance specified above, this effect is not appreciable.

2. — The technique which is described above has been used satisfactorily for insulators and similar objects with test voltages up to about 600 kV r.m.s. However, for large test objects and for higher voltages, modifications to this system may be needed. In particular, it may be necessary to use more than two rows of jets and the clearance distances may have to be increased. In such cases, a measurement of the degree of the pollution of the test object is recommended (see Appendix C).

## ANNEXE B

### POLLUTION PRÉDÉPOSÉE, APPLICATION DE LA COUCHE ET PROCESSUS D'HUMIDIFICATION

Dans cette annexe sont donnés, à titre d'exemple, des détails concernant l'application de la couche et le processus d'humidification à utiliser pour la méthode de pollution prédéposée.

#### B.1 Préparation des matériaux constituant le revêtement

Les matériaux constituant le revêtement devront être préparés sous forme d'une solution en suspension ayant la composition suivante:

- 100 g de terre d'infusoires (diatomées),
- 10 g de bioxyde de silicium ( $\text{SiO}_2$ ), dimension des particules  $2\text{ }\mu\text{m}$ - $20\text{ }\mu\text{m}$  (par exemple Aerosil),
- 1 000 g d'eau (l'eau du robinet peut être utilisée).

On ajoute du chlorure de sodium ( $\text{NaCl}$ ) pour ajuster la résistivité à la valeur désirée.

D'autres compositions de la solution peuvent être utilisées si elles présentent les mêmes effets caractéristiques. Dans cette éventualité, le dépôt sur la surface de l'objet essayé doit absorber à peu près la même quantité d'eau que lorsque la solution ci-dessus est utilisée.

Pour obtenir des résultats comparables, la résistivité mesurée de la solution en suspension, après correction à  $20\text{ }^\circ\text{C}$  (voir figure 2, page 37), devra être identique à  $\pm 15\%$  près à l'une des valeurs  $\rho_{20}$  données dans le tableau suivant.

TABLEAU B.1

| Résistivité de la solution $\rho_{20}$                    | $\Omega\text{m}$ | 0,83             | 1,7              | 3,3               | 6,7               |
|-----------------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| Résistivité superficielle $\rho_{s20}$<br>(voir annexe C) | $\Omega$         | $25 \times 10^3$ | $50 \times 10^3$ | $100 \times 10^3$ | $200 \times 10^3$ |

#### B.2 Application de la couche solide et processus d'humidification

La solution est pulvérisée sur la surface lavée de l'objet en essai (voir paragraphe 9.1) en utilisant un ou plusieurs pulvérisateurs du genre de ceux utilisés pour la peinture au pistolet. Le revêtement résultant devra être réparti aussi uniformément que possible sur toute la surface isolante de l'objet en essai.

On peut admettre que le revêtement soit sec avant le début de l'essai, de sorte que son application peut être entreprise en tout endroit commode et si besoin est en avance par rapport à la date de l'essai.

L'objet en essai recouvert de sa couche est monté dans la salle d'essais sous pollution au moment nécessaire. Il devra être humidifié uniformément sur toute sa surface à l'aide d'une fine pulvérisation ou d'un brouillard jusqu'à ce que la résistivité superficielle minimale soit obtenue (habituellement en 15 min-20 min environ). Ceci peut être réalisé à l'aide de toute source de vapeur convenable (évitant des gradients de température sur l'objet en essai) ou tout type de générateur produisant une fine pulvérisation. La résistivité superficielle, mesurée et corrigée à  $20\text{ }^\circ\text{C}$  conformément à l'annexe C, devra être approximativement égale à une valeur  $\rho_{s20}$  dont l'ordre de grandeur est indiqué dans le tableau B.1. Un exemple de pulvérisateur à brouillard convenable est donné à la figure 9, page 43.

## APPENDIX B

### PRE-DEPOSITION OF POLLUTION, COATING AND WETTING PROCEDURE

In this appendix, details are given by way of some examples of the coating and wetting procedure to be used for the pre-deposited pollution method.

#### B.1 Preparation of coating material

The coating material should be prepared as a suspension in water having the following composition:

- 100 g diatomaceous earth (Diatomite),
  - 10 g silicon dioxide ( $\text{SiO}_2$ ), particle size  $2\text{ }\mu\text{m}$ - $20\text{ }\mu\text{m}$  (for example Aerosil),
  - 1 000 g water (ordinary tap water may be used).
- Sodium chloride (NaCl) added to give required resistivity.

Suspensions of other composition may be used, if they give the required effects. In such cases, the deposit on the surface of the test object should absorb about the same amount of water as when the above suspension is used.

To obtain comparable test results, the measured resistivity of the suspension, when corrected to the equivalent value at  $20\text{ }^\circ\text{C}$  (see Figure 2, page 37), should be within  $\pm 15\%$  of one of the values  $\rho_{20}$  given in the following table.

TABLE B.I

| Suspension resistivity $\rho_{20}$                                          | $\Omega\text{m}$ | 0.83             | 1.7              | 3.3               | 6.7               |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| Approximate equivalent surface resistivity $\rho_{s20}$<br>(see Appendix C) | $\Omega$         | $25 \times 10^3$ | $50 \times 10^3$ | $100 \times 10^3$ | $200 \times 10^3$ |

#### B.2 Solid coating and wetting procedure

The suspension is sprayed on to the clean surface of the test object (see Sub-clause 9.1) using one or more spray nozzles, which may be conventional spray guns of the type used for painting purposes. The resulting layer should be uniformly distributed as far as possible over the whole of the insulating surface of the test object.

It is permissible for the coating to dry out before starting the test; hence it may be applied in any convenient place and, if necessary, well in advance of the time of testing.

The coated test object is set up when required in the high-voltage testing area. Its whole surface should then be uniformly wetted by means of a fine mist or fog, until minimum surface resistivity is obtained (usually in about 15 min - 20 min). This may be done using any convenient source of steam (avoiding temperature gradients of the test object) or any form of fine mist generator. The surface resistivity, measured and corrected to  $20\text{ }^\circ\text{C}$  according to Appendix C, should be approximately equal to the appropriate value  $\rho_{s20}$  given in Table B.I. An example of a suitable fog jet is shown in Figure 9, page 43.

Pendant l'humidification, il est important qu'aucune chute de gouttes d'eau ne se produise depuis les bords de l'isolateur. L'humidification est prolongée pendant la durée d'application de la tension.

Des précautions devront être prises afin de s'assurer que ni les matériaux, ni les procédés utilisés ne soient nuisibles à la santé du personnel.

### B.3 Méthode de la pollution liquide prédéposée

Une variante de la méthode ci-dessus dite de la « pollution liquide prédéposée » qui ne nécessite pas la production d'un brouillard a été employée avec succès. Dans ce but, on utilise une solution en suspension dont la composition est telle qu'elle conserve une résistivité effectivement constante pendant des durées de 15 min à 30 min sans avoir besoin de réhumidifier le dépôt.

La composition recommandée est la suivante:

- 20 g de silice pyrogénique ( $\text{SiO}_2$ ),
- 1 g d'agent mouillant photographique,
- 1 000 g d'eau de robinet.

Du chlorure de sodium est ajouté pour obtenir la résistivité requise, laquelle est choisie dans la liste des valeurs données dans le tableau B.I.

Une couche de cette solution est appliquée peu de temps avant le début des essais.

Le dépôt de la couche sur l'objet en essai peut être réalisé au moyen de petits tubes cylindriques dont les extrémités ont été aplaties pour obtenir une section approximativement elliptique ayant pour dimensions internes 3 mm × 6 mm. Quelques-uns de ces tubes sont régulièrement disposés sur un anneau circulaire et dirigés vers le centre. La solution polluante est injectée à travers ces tubes par une pompe de pression convenable.

L'anneau et les orifices de sortie sont conçus pour que le dispositif puisse être déplacé lentement et uniformément le long de la surface de l'isolateur à recouvrir, l'axe de ce dernier étant approximativement au centre de l'anneau. Les orifices de sortie sont orientés suivant un angle permettant d'injecter la solution avec un mouvement tourbillonnaire, provoquant ainsi un recouvrement complet des surfaces isolantes. Le processus de dépôt est poursuivi jusqu'à ce qu'il atteigne le point où des gouttes apparaissent. Lorsque le dépôt est terminé, un temps suffisant (environ 5 min) est accordé pour que cesse la chute des gouttes et pour que le dépôt se stabilise. La tension est ensuite appliquée et augmentée rapidement jusqu'au niveau de tension spécifié. Elle est ensuite maintenue à cette valeur jusqu'à ce qu'un contournement se produise ou jusqu'à ce que toute activité de décharge cesse, indiquant alors qu'aucun contournement ne se produira.

During the wetting, it is important that no dripping from the edges of the insulator takes place. The wetting is continued during the period of voltage application.

Precautions should be taken to ensure that neither the materials nor the processes used should introduce a health hazard for personnel.

### B.3 Flow-on method

A variation of the above method, the “flow-on method”, which does not require a fog spray has been used successfully. With this method, a suspension is used, the composition of which is such that it retains an effectively constant resistivity for periods of 15 min - 30 min without the need to rewet the deposited pollution.

The following composition is recommended:

- 20 g pyrogenic silica ( $\text{SiO}_2$ ),
- 1 g photographic wetting agent,
- 1 000 g ordinary tap water.

Sodium chloride is added to obtain the required resistivity as chosen from the list of values given in Table B.I.

A coating of this material is applied a short time before the starting of the test.

The coating of the test object can be accomplished by means of small cylindrical tubes the ends of which have been pinched to obtain an approximately elliptical cross-section with internal dimensions of 3 mm  $\times$  6 mm. A number of these tubes is regularly spaced on a circular ring and directed towards the centre. The polluting solution is forced through these tubes by a pump at a suitable pressure.

The ring and the outlets are so designed that the assembly can be passed slowly and progressively over the insulator to be coated, the axis of the insulator being approximately at the centre of the ring. The outlets are directed at an angle to obtain a swirling movement of the suspension and thus provide a complete coating of the insulating surfaces. The coating procedure is carried out until the deposited suspension is on the point of dripping off. When the coating has been completed, a sufficient time (about 5 min) is allowed for any dripping to cease, and for the coating to stabilize. The voltage is then applied and raised rapidly to the specified test level. It is then maintained at this value until a flashover occurs or until any discharge activity ceases, thus indicating that no flashover will occur.

## ANNEXE C

### MESURE DU DEGRÉ DE POLLUTION

Le degré de pollution de la surface de l'objet en essai peut être spécifié par une ou plusieurs des caractéristiques, voir C.1 et C.2 ci-dessous.

#### C.1 La résistivité superficielle de la surface isolante

La résistivité superficielle d'une surface isolante peut être déterminée par la mesure de la résistance de fuite  $R_t$  entre deux électrodes de métal nu de l'objet en essai. La résistivité superficielle est calculée à partir de cette résistance en utilisant un facteur de forme déduit de la géométrie de la surface isolante, voir ci-après.

En général, pour donner des résultats valables, la tension utilisée pour la mesure de la résistance devra être au moins de 2 kV/m de ligne de fuite. Cependant, dans le cas des méthodes utilisant la « pollution liquide prédéposée », cette tension peut provoquer un assèchement et une tension plus faible devra être alors utilisée.

La résistance de fuite  $R_t$  est ramenée à 20 °C à l'aide des indications de la figure 2, page 37, pour donner la valeur  $R_{20}$ . La résistivité superficielle  $\rho_{s20}$  est calculée par la formule:

$$\rho_{s20} = \frac{R_{20}}{f}$$

où  $f$  est le facteur de forme de la ligne de fuite défini par:

$$f = \int_0^l \frac{dx}{b(x)}$$

où:

$l$  = longueur totale de la ligne de fuite

$dx$  = longueur d'un élément de la ligne de fuite à la distance  $x$  le long de cette ligne, mesurée depuis l'une des électrodes ( $0 \leq x \leq l$ )

$b(x)$  = largeur (ou valeur de la circonférence) de l'isolateur à la distance  $x$ .

Il est plus simple de procéder par intégration graphique et par sommation d'éléments finis.

Noter que la détermination de la résistivité superficielle utilisant la résistance et le facteur de forme peut donner des résultats incorrects si la résistivité superficielle n'est pas raisonnablement constante le long de l'objet en essai ou de la partie mesurée.

#### C.2 La quantité équivalente de chlorure de sodium par cm<sup>2</sup> de surface isolante

La surface isolante polluée ou une fraction de cette surface est lavée avec de l'eau distillée qui est soigneusement recueillie. La résistivité de l'eau collectée est mesurée et ramenée à 20 °C à l'aide de la courbe de correction de la figure 2. La quantité équivalente  $C$  de chlorure de sodium en g/l dans la solution est déterminée à l'aide de la figure 6, page 40. A partir de cette valeur, la quantité équivalente  $M$  de chlorure de sodium par unité de surface est déterminée en mg/cm<sup>2</sup> par:

$$M = \frac{CV}{A}$$

où:

$A$  = aire de la surface nettoyée en cm<sup>2</sup>

$V$  = volume d'eau recueilli en cm<sup>3</sup>.

## APPENDIX C

### MEASUREMENT OF THE DEGREE OF POLLUTION

The degree of pollution of the surface of the test object can be specified by one or more of the following characteristics, see C.1 and C.2 below.

#### C.1 The surface resistivity of the insulating surface

To determine the surface resistivity of an insulating surface, the leakage resistance  $R_t$  is measured between two bare electrodes of the test object. From this resistance, the surface resistivity is calculated using a form factor derived from the geometry of the insulating surface, see below.

In general, to give constant results, the voltage used for the resistance measurement should be about 2 kV/m of the leakage path. However, in the case of the "flow-on method", this voltage may cause drying and a lower voltage should be used.

The leakage resistance  $R_t$  is corrected to 20 °C by means of Figure 2, page 37, to give the value  $R_{20}$ . The surface resistivity  $\rho_{s20}$  is calculated from:

$$\rho_{s20} = \frac{R_{20}}{f}$$

where  $f$  is the form factor of the insulating leakage path defined by:

$$f = \int_0^l \frac{dx}{b(x)}$$

where:

$l$  = total length of the leakage path

$dx$  = length of an element of the leakage path, at distance  $x$  along this path measured from one electrode (hence  $0 \leq x \leq l$ )

$b(x)$  = breadth (or circumference) of the leakage path at distance  $x$ .

The form factor is most easily evaluated by graphical integration of finite elements.

Note that the determination of the surface resistivity using the resistance and form factor may give incorrect results if the surface resistivity is not reasonably constant along the length of the test object or the measured part thereof.

#### C.2 The equivalent amount of sodium chloride per cm<sup>2</sup> of the insulating surface

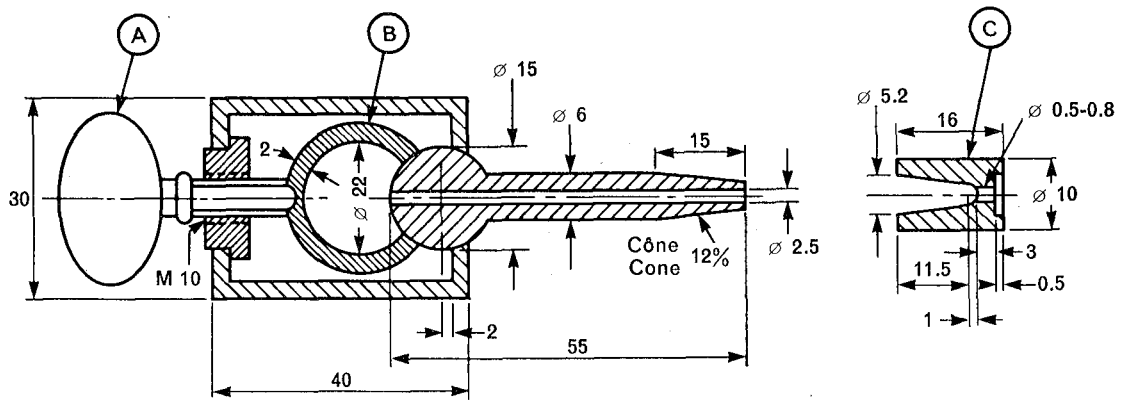
The polluted insulating surface or a certain part of it is washed with distilled water, all of which is carefully collected. The resistivity of the collected water is measured and corrected to 20 °C by the correction curve of Figure 2. The equivalent quantity  $C$  of sodium chloride in g/l in the solution is determined by the use of Figure 6, page 40. From this, the equivalent amount  $M$  of sodium chloride per unit surface is determined in mg/cm<sup>2</sup> by:

$$M = \frac{CV}{A}$$

where:

$A$  = the area of the cleaned surface in cm<sup>2</sup>

$V$  = the volume of the collected water in cm<sup>3</sup>.



0167/73

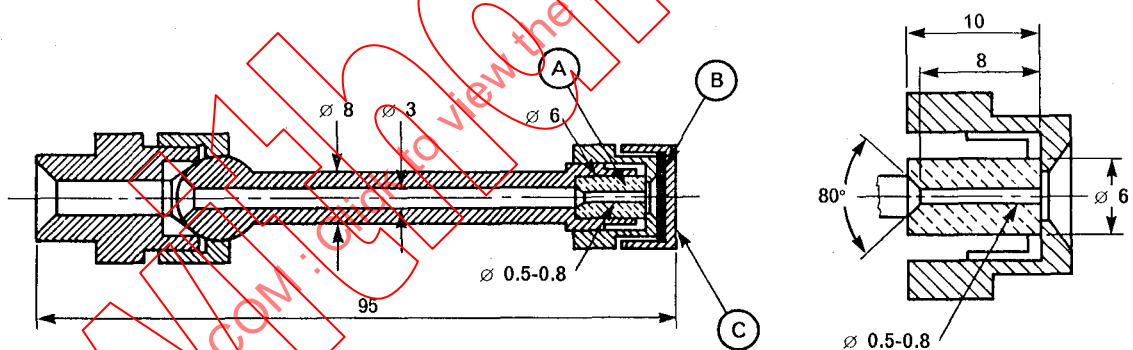
Dimensions en millimètres

- A = vis de blocage du gicleur  
B = conduite d'alimentation en eau  
C = ajutage remplaçable

Dimensions in millimetres

- A = nozzle clamping screw  
B = water supply pipe  
C = replaceable orifice

FIG. 1a. — Gicleur type I.  
Nozzle type I.



0168/73

Dimensions en millimètres

- A = embout en matière plastique pour réduire le risque d'obturation  
B = caoutchouc d'étanchéité  
C = couvercle pour arrêter le jet d'eau

Dimensions in millimetres

- A = plastic orifice to reduce the risk of obstruction by dirt  
B = rubber seal  
C = cover to block water

FIG. 1b. — Gicleur type II.  
Nozzle type II.