

RAPPORT TECHNIQUE TECHNICAL REPORT

**CEI
IEC
1245**

Première édition
First edition
1993-10

**Essais de pollution artificielle sur
isolateurs haute tension destinés
aux réseaux à courant continu**

**Artificial pollution tests
on high-voltage insulators
to be used on d.c. systems**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 1245: 1993

Numéros des publications

Depuis le 1^{er} janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60 000.

Publications consolidées

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

Validité de la présente publication

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

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

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

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

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

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

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

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

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60 000 series.

Consolidated publications

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

Validity of this publication

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

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

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

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

Terminology, graphical and letter symbols

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

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

* See web site address on title page.

**RAPPORT
TECHNIQUE – TYPE 2
TECHNICAL
REPORT – TYPE 2**

**CEI
IEC
1245**

Première édition
First edition
1993-10

**Essais de pollution artificielle sur
isolateurs haute tension destinés
aux réseaux à courant continu**

**Artificial pollution tests
on high-voltage insulators
to be used on d.c. systems**

© CEI 1993 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 3, rue de Varembe Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

V

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	8
Articles	
Section 1: Généralités	
1.1 Domaine d'application	12
1.2 Références normatives	12
1.3 Définitions	12
Section 2: Prescriptions générales pour les essais	
2.1 Méthodes d'essai	16
2.2 Préparation de l'isolateur pour l'essai	18
2.3 Prescriptions concernant le circuit d'essai	20
Section 3: Méthode du brouillard salin	
3.1 Solution saline	22
3.2 Système de pulvérisation	24
3.3 Conditions avant de commencer l'essai	26
3.4 Préconditionnement	28
3.5 Essai de tenue	28
3.6 Critères d'acceptation de l'essai de tenue	30
Section 4: Méthode de la couche solide	
4.1 Composition de la suspension contaminante	30
4.2 Caractéristiques principales des matériaux inertes	32
4.3 Application de la couche de pollution	32
4.4 Détermination du degré de pollution de l'isolateur en essai	34
4.5 Procédure d'essai	36
4.6 Essai de tenue et critères d'acceptation	38
Section 5: Caractéristique de tenue des isolateurs	
5.1 Détermination des caractéristiques de tenue des isolateurs	38
Figures	44
Annexes	
A Méthode pour vérifier l'uniformité de la couche	48
B Recommandations supplémentaires concernant la procédure de la couche solide	52
C Informations pour la vérification des installations pour les essais de pollution artificielle ..	58

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	9
Clause	
Section 1: General	
1.1 Scope	13
1.2 Normative references	13
1.3 Definitions	13
Section 2: General test requirements	
2.1 Test methods	17
2.2 Arrangement of the insulator for the test	19
2.3 Requirements for the test circuit	21
Section 3: Salt fog method	
3.1 Salt solution	23
3.2 Spraying system	25
3.3 Conditions before starting the test	27
3.4 Preconditioning process	29
3.5 Withstand test	29
3.6 Acceptance criteria for the withstand test	31
Section 4: Solid layer method	
4.1 Composition of the contaminating suspension	31
4.2 Main characteristics of the inert material	33
4.3 Application of the pollution layer	33
4.4 Determination of the degree of pollution of the tested insulator	35
4.5 Test procedure	37
4.6 Withstand test and acceptance criteria	39
Section 5: Withstand characteristic of insulators	
5.1 Determination of the withstand characteristics of insulators	39
Figures	44
Annexes	
A Method for checking the uniformity of the layer	49
B Additional recommendations concerning the solid layer method procedures	53
C Informations to check equipment for artificial pollution tests	59

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ESSAIS DE POLLUTION ARTIFICIELLE SUR ISOLATEURS HAUTE TENSION DESTINÉS AUX RÉSEAUX À COURANT CONTINU

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par les comités d'études où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La tâche principale des comités d'études de la CEI est d'élaborer des Normes internationales. Exceptionnellement, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique de l'un des types suivants:

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

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

La CEI 1245, rapport technique de type 2, a été établie par le comité d'études 36 de la CEI: Isolateurs.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**ARTIFICIAL POLLUTION TESTS ON HIGH-VOLTAGE INSULATORS
TO BE USED ON D.C. SYSTEMS**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international cooperation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, 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.
- 3) They have the form of recommendations for international use published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.

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

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

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

IEC 1245, which is a technical report of type 2, has been prepared by IEC technical committee 36: Insulators.

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

Projet de comité	Rapport de vote
36(SEC)85	36(SEC)97

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

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

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

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

Les annexes A, B et C sont données uniquement à titre d'information.

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

Committee draft	Report on Voting
36(SEC)85	36(SEC)97

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

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

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

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

Annexes A, B and C are for information only.

INTRODUCTION

La tenue électrique de l'isolation en courant continu dans des conditions de pollution détermine, dans de nombreux cas, les dimensions et la conception de l'isolation.

A l'heure actuelle, la tension la plus élevée des systèmes à courant continu en exploitation est de ± 600 kV. Puisque l'expérience acquise en laboratoire n'est valable que jusqu'à ce niveau de tension, cette valeur est prise comme valeur limite dans ce rapport. Des niveaux plus élevés pourront être pris en considération lorsqu'un nombre suffisant de résultats seront disponibles.

A l'heure actuelle, il est encore difficile de déterminer le comportement en service des isolateurs à partir des résultats des essais sous pollution artificielle proposés dans ce rapport. En particulier pour les tensions de réseau les plus élevées, l'expérience à la fois d'essais de pollution artificielle et en service est encore limitée, et on a besoin de plus d'expérience dans les deux secteurs pour obtenir des prévisions de fonctionnement fiables. Les essais artificiels, par conséquent, ne donnent qu'une estimation de la performance des isolateurs en conditions de service. Ces essais de pollution artificielle sont en général des essais de courte durée comparé à la durée de vie utile des isolateurs en service et, par conséquent, ils ne sont pas appropriés comme essais de vieillissement.

Il convient de considérer le contenu de ce rapport comme une tentative pour améliorer la reproductibilité des procédures d'essai de pollution en courant continu. De l'expérience supplémentaire ainsi que des résultats d'essais de laboratoire additionnels sont toutefois indispensables pour établir la reproductibilité des procédures du brouillard salin et de la couche solide décrites dans ce rapport. Donc il n'est pas possible de définir l'intervalle de confiance des résultats des essais de pollution sous courant continu.

Les procédures d'essais sous tension continue telles que spécifiées dans ce rapport suivent de très près celles établies sous tension alternative dans la CEI 507. Il n'est cependant pas exclu que d'autres procédures puissent être définies ultérieurement. Par exemple, une humidification non uniforme, qui peut se produire sur des traversées murales dans certaines positions, peut donner lieu à des valeurs de contournement bien inférieures à celles obtenues lors des essais de pollution avec humidification uniforme des surfaces. Dans ce cas, la simulation en laboratoire de l'humidification et la détermination de la tension de tenue peuvent être appropriées.

Les principales différences entre ce rapport et la CEI 507 sont les suivantes:

- les prescriptions pour le circuit d'essai comprennent le facteur d'ondulation, la chute de tension et le dépassement de tension. Aucune prescription n'est donnée sur la valeur minimum du courant de court-circuit ou encore sur le rapport entre courant de court-circuit et courant de fuite;
- on donne différents critères pour identifier le contournement;
- dans le cas de l'essai sous brouillard salin, un procédé de préconditionnement sous tension continue peut être utilisé selon accord;
- on fixe un taux d'humidification plutôt qu'un taux d'injection de vapeur; la mesure de la conductance de la couche sert à contrôler le processus d'humidification par le brouillard;
- en ce qui concerne la méthode de la couche solide, seule la procédure d'essai «B» est considérée, compte tenu de la dispersion des résultats d'essais par la procédure «A».

INTRODUCTION

The electrical strength of d.c. insulation under pollution conditions determines, in many cases, the dimensions and the design of the insulation.

For the time being, ± 600 kV is the highest voltage of the d.c. systems in use and, since laboratory experience is only available up to this system voltage level, it is chosen as the limit for this report. Higher system voltages will be considered when sufficient results are available.

For the time being it is still difficult to determine the service performance of d.c. insulators by means of the results from the artificial pollution tests proposed by this report. In particular for the highest system voltages, experience from both artificial pollution tests and service is still limited and more experience in both areas is needed for reliable service predictions. Artificial tests, therefore, give only an estimate of the performance of insulators under service conditions. These artificial pollution tests are in general short time tests compared to the expected life-time of insulators in service and, therefore, are not suitable as ageing tests.

The text of this report should be considered as an attempt to improve the reproducibility of the d.c. pollution test procedures. Further experience and additional laboratory results are still required to establish the reproducibility of the salt fog and solid layer test procedures described in this report. Therefore, it is not possible to define a confidence interval for d.c. pollution test results.

The d.c. test procedures as specified in this report follow closely the ones established for a.c. by IEC 507. This does not exclude the possibility that at a later time other d.c. test procedures will be defined. For example, uneven wetting which can occur on wall bushings in certain positions, may lead to flashovers at much lower voltages than those obtained during pollution tests with uniformly wetted surfaces. In this case simulation of the wetting and determination of the withstand voltage may be appropriate.

The main differences between this report and IEC 507 are:

- test circuit requirements include ripple factor, voltage drop and voltage overshoot. No requirements are made for the minimum short circuit current or ratio between short circuit and leakage currents;
- different criteria for the identification of flashover are given;
- for the salt fog test, a pre-conditioning process with d.c. voltage may be used by agreement;
- the wetting rate, rather than the steam injection rate, is prescribed; the measurement of the layer conductance is used to check the wetting action of the fog;
- as regards the solid layer methods, only the test procedure type "B" is considered due to the high scatter of the results obtained with tests carried out according to the type "A" procedure.

Pour les méthodes d'essai décrites ci-dessous, on recommande de spécifier la tension pour l'essai de tenue comme la valeur la plus élevée de la tension de fonctionnement normal en service. D'autres tensions peuvent faire l'objet d'un accord. Les essais sont habituellement faits en polarité négative, mais des essais en polarité positive ou dans les deux polarités peuvent être requis.

Seules les méthodes d'essai où la tension est maintenue constante pendant tout l'essai sont considérées comme appropriées à la normalisation. Des variantes où la tension est augmentée continuellement jusqu'au contournement ne sont pas proposées pour la normalisation, mais peuvent être utilisées dans des buts particuliers.

Le courant de fuite peut servir à interpréter les résultats d'essais; il est donc recommandé de mesurer ce courant en permanence pendant les essais sous pollution artificielle.

Pour obtenir des résultats répétitifs, la couche artificielle de pollution pour les essais de pollution en c.c. doit être aussi uniforme que possible. En général, une distribution non uniforme de polluant semble plus influencer la tenue en tension continue plus que dans le cas de la tension alternative.

La quantité de matières insolubles sur la surface des isolateurs peut influencer les résultats d'essais. Même si ce problème est encore en cours d'examen et qu'aucun critère ne puisse être donné, la définition de la densité du dépôt non soluble a été introduite dans ce rapport pour référence.

Le type et l'origine de la matière insoluble peuvent également influencer les résultats d'essai.

Les problèmes suivants nécessitent des recherches complémentaires:

- l'efficacité du préconditionnement sous tension continue dans le cas de la méthode du brouillard salin;
- l'influence des matériaux insolubles sur les résultats d'essais dans le cas de la méthode de la couche solide;
- l'influence du débit de vapeur et du champ électrique réel sous tension continue sur les caractéristiques de l'humidification.

Des études des essais de pollution sous tension continue sont en cours dans un programme joint CIGRE/IEEE. Des informations sont déjà disponibles dans le rapport publié par le Groupe de Travail 33-04-04 de la CIGRE: «Essais de pollution artificielle d'isolateurs CCHT: analyses des facteurs influençant leur performance» Electra n° 140. Des informations supplémentaires seront disponibles à la fin du programme et seront utilisées pour la révision future de ce rapport.

For the test methods described below, it is recommended that the voltage for the withstand voltage tests be specified as the highest value of operating voltage which occurs under normal operating conditions. Other test voltages may be agreed upon. The tests are usually carried out at negative polarity but tests with positive polarity or both may be required.

Only those test methods in which the voltage is held constant during the whole test are considered suitable for standardization. Variants in which the voltage is raised continuously to flashover are not proposed for standardization, but may be used for special purposes.

The leakage current may be used for interpretation of the test results, and therefore it is recommended that this current be continuously measured during the artificial pollution tests.

To achieve repeatable results, the artificial layer for d.c. pollution tests shall be as uniform as possible. In general non-uniform pollution distribution seems to influence d.c. withstand and flashover voltages more than in the case of a.c.

The amount of non-soluble material on the insulator surface may affect the test results. Although this matter is under consideration and no requirements can be given, the definition of non-soluble deposit density has been introduced into this report for reference.

The type of non-soluble material and its origin may also affect the test results.

The following problems need further investigation:

- effectiveness of preconditioning with d.c. voltage in the case of salt fog procedure;
- influence of non-soluble materials on the test results in the case of solid layer procedure;
- influence of steam rate and actual d.c. field on wetting characteristics.

Studies concerning d.c. pollution tests are continuing in a joint CIGRE/IEEE programme. Some information is already available in ELECTRA No. 140 in a paper published by CIGRE TF 33-04-04 entitled: "Artificial pollution testing of HVDC insulators: analysis of factors influencing performance". This paper will be supplemented when the programme is completed and the information will be used for a future revision of this report.

ESSAIS DE POLLUTION ARTIFICIELLE SUR ISOLATEURS HAUTE TENSION DESTINÉS AUX RÉSEAUX À COURANT CONTINU

Section 1: Généralités

1.1 Domaine d'application

Le présent rapport technique est applicable à la détermination des caractéristiques de tenue d'isolateurs en verre et en céramique utilisés à l'extérieur et exposés aux atmosphères polluées, dans des réseaux en c.c. de tension allant de $\pm 1\ 000\text{ V}$ à $\pm 600\text{ kV}$.

Ces essais ne sont pas directement applicables aux isolateurs en matériaux organiques, aux isolateurs composites, aux isolateurs graissés ou à certains types particuliers d'isolateurs (isolateurs revêtus d'un émail semi-conducteur ou d'un matériau isolant organique).

Ce rapport présente les procédures d'essais sous pollution artificielle applicables aux isolateurs de lignes aériennes, aux isolateurs de poste et aux isolateurs de lignes de traction électrique en c.c. Il peut aussi être appliqué aux traversées isolées, avec des précautions convenables pour éviter des dommages internes, et aux isolateurs creux conçus pour être utilisés dans d'autres appareillages. En appliquant ces méthodes aux appareillages incorporant des isolants creux, le comité d'études concerné devrait prendre en considération leurs effets sur l'équipement interne et les précautions spéciales qui peuvent se révéler nécessaires.

NOTE - Pour des objets d'essai de dimensions importantes, comme des grandes traversées murales et des transducteurs, une grande dispersion des résultats d'essai a été rencontrée.

1.2 Références normatives

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

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

CEI 507: 1991, *Essais sous pollution artificielle des isolateurs pour haute tension destinés aux réseaux à courant alternatif*

1.3 Définitions

Pour les besoins du présent rapport technique, les définitions suivantes s'appliquent.

1.3.1 essai individuel: Un seul processus consistant en l'application d'une tension d'essai spécifiée à un objet, pendant un temps spécifié ou jusqu'au contournement, à un degré spécifié de pollution.

ARTIFICIAL POLLUTION TESTS ON HIGH-VOLTAGE INSULATORS TO BE USED ON D.C. SYSTEMS

Section 1: General

1.1 Scope

This technical report is applicable to the determination of the withstand characteristics of ceramic and glass insulators to be used outdoors and exposed to polluted atmospheres, on d.c. systems with voltages from $\pm 1\ 000\text{ V}$ up to $\pm 600\text{ kV}$.

These tests are not directly applicable to insulators made of organic materials, to composite insulators, to greased insulators or to special types of insulators (insulators with semiconductive glaze or covered with any organic insulating material).

This report presents procedures for artificial pollution tests applicable to d.c. overhead-line insulators, substation insulators and traction line insulators. It may also be applied to bushings with suitable precautions to avoid internal damage and to hollow insulators intended for use in other apparatus. In applying these procedures to apparatus incorporating hollow insulators, the relevant technical committees should consider their effect on the internal equipment and the special precautions which may be necessary.

NOTE - For largest objects such as large wall bushings and transducers, a high spread of test results has been experienced.

1.2 Normative references

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

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

IEC 507: 1991, *Artificial pollution tests on high-voltage insulators to be used on a.c. systems*

1.3 Definitions

For the purpose of this technical report the following definitions apply.

1.3.1 Individual test: One single process consisting in applying to the object a specified test voltage, for a specified time or until flashover occurs, at a specified degree of pollution.

1.3.2 tension moyenne effective (U_a): Valeur moyenne de la tension à un instant donné sur un intervalle de temps finissant à l'instant considéré et ayant une durée égale à celle d'un seul cycle de la tension alternative alimentant le redresseur.

NOTE - Quand il n'est pas possible de déterminer le cycle de la tension d'alimentation, l'intervalle de temps est de 20 ms.

1.3.3 tension d'essai (U_t): Tension moyenne effective au début d'un essai individuel.

1.3.4 facteur d'ondulation: Rapport de l'amplitude d'ondulation à la tension moyenne effective (U_r/U_a dans la figure 1).

1.3.5 chute de tension (Δu_t): Différence entre la tension d'essai et la tension moyenne effective (figure 2).

1.3.6 chute de tension relative: Rapport de la chute de tension (Δu_t) à la tension d'essai (U_t), habituellement exprimé en pourcentage.

1.3.7 dépassement de tension: Différence entre la tension moyenne effective et la tension d'essai (figure 2).

1.3.8 dépassement de tension relatif: Rapport du dépassement de tension à la tension d'essai (U_t), habituellement exprimé en pourcentage.

1.3.9 courant de fuite: Courant mesuré en série avec la surface de l'isolateur à son extrémité à la masse pendant un essai de pollution.

1.3.10 courant de fuite le plus élevé d'un essai individuel: Valeur de courant de fuite la plus élevée pendant un essai individuel sans contournement.

1.3.11 courant de court-circuit: Courant fourni par le circuit d'essai complet, quand l'objet d'essai est soumis à la tension d'essai, puis court-circuité.

1.3.12 résistance de limitation de courant (R_s): Résistance entre le condensateur de charge de la source à courant continu et l'objet en essai.

1.3.13 salinité (S_a): Concentration de la solution de sel dans l'eau du robinet, exprimée par la quantité de sel divisée par le volume de solution; elle est généralement exprimée en kg/m³.

1.3.14 couche de pollution: Couche conductrice électrolytique sur la surface de l'isolateur contenant du sel et des matériaux inertes.

1.3.15 conductance de la couche (G_L): Rapport du courant à la tension mesurée comme spécifié dans l'annexe B.

1.3.16 densité du dépôt de sel (S_D): Masse de sel déposé sur une surface donnée de l'isolateur (les parties métalliques et le scellement ne sont pas comptés dans cette surface), divisée par cette surface (voir article 4.4) et généralement exprimée en mg/cm².

1.3.2 actual mean voltage (U_a): Mean value of the voltage at a given instant over a time interval ending at the instant considered and having a duration equal to that of one cycle of the alternating voltage supplying the rectifier.

NOTE - When it is not possible to determine the cycle of the supply voltage, the time interval is 20 ms.

1.3.3 test voltage (U_t): Actual mean voltage at the beginning of an individual test.

1.3.4 ripple factor: Ratio of the ripple amplitude to the actual mean voltage (U_r/U_a in figure 1).

1.3.5 voltage drop (Δu_t): Difference between the test voltage and the actual mean voltage (figure 2).

1.3.6 relative voltage drop: Ratio of the voltage drop Δu_t to the test voltage (U_t) usually expressed as a percentage.

1.3.7 voltage overshoot: Difference between the actual mean voltage and the test voltage (figure 2).

1.3.8 relative voltage overshoot: Ratio of the voltage overshoot to the test voltage U_t , usually expressed as a percentage.

1.3.9 leakage current: Current measured in series with the insulator surface at its earth end during a pollution test.

1.3.10 highest leakage current during an individual test: Highest leakage current value occurring during an individual test without flashover.

1.3.11 short-circuit current: Current delivered by the complete testing circuit, when the test object is energized at the test voltage and then short-circuited.

1.3.12 current limiting resistor (R_s): Resistor between the load capacitor of the d.c. supply and the test object.

1.3.13 salinity (S_s): Concentration of the solution of salt in tap water, expressed by the amount of salt divided by the volume of solution; it is generally expressed in kg/m³.

1.3.14 pollution layer: Conducting electrolytic layer on the insulator surface, composed of salt plus inert materials.

1.3.15 layer conductance (G_L): Ratio current/voltage measured as specified in annex B.

1.3.16 salt deposit density (S_D): Amount of salt in the deposit on a given surface of the insulator (metal parts and assembling materials are not to be included in this surface), divided by the area of this surface (see clause 4.4); it is generally expressed in mg/cm².

1.3.17 densité du dépôt non soluble (S_N): Quantité de matériel non soluble dans le dépôt sur une surface donnée de l'isolateur (les pièces métalliques et les matériaux de montage ne sont pas compris dans cette surface), divisée par cette surface; elle est généralement exprimée en mg/cm².

1.3.18 degré de pollution: Valeur de la quantité (salinité, densité du dépôt de sel) qui caractérise la pollution artificielle appliquée à l'isolateur en essai.

1.3.19 salinité de référence: Valeur de la salinité utilisée pour caractériser un essai individuel.

1.3.20 densité du dépôt de sel de référence: Valeur de la densité de dépôt de sel utilisée pour caractériser un essai individuel: c'est la moyenne des valeurs des densités de dépôt de sel mesurées sur quelques isolateurs (ou certaines parties de ceux-ci), choisis à cet effet parmi les isolateurs pollués avant de réaliser l'essai.

1.3.21 degré de pollution spécifié tenu: Degré de pollution de référence pour lequel un isolateur doit tenir la tension d'essai spécifiée dans au moins trois essais sur quatre, dans les conditions décrites aux articles 3.5 ou 4.6.

1.3.22 degré de pollution maximal tenu: Le plus haut degré de pollution auquel un isolateur a tenu la tension d'essai spécifiée, pour au moins trois essais individuels sur quatre, dans les conditions décrites au 5.1.1.

1.3.23 tension spécifiée tenue: Tension d'essai pour laquelle un isolateur doit tenir le degré de pollution spécifié dans au moins trois essais individuels sur quatre, dans les conditions décrites aux articles 3.5 ou 4.6.

1.3.24 tension maximale tenue: La plus haute tension d'essai à laquelle un isolateur a tenu au degré spécifié de pollution, pour au moins trois essais individuels de tenue sur quatre, dans les conditions décrites au 5.1.2.

1.3.25 tension de tenue 50 %: Tension d'essai à laquelle un isolateur a 50 % de probabilité de tenir à un essai individuel (voir 5.1.3).

Section 2: Prescriptions générales pour les essais

2.1 Méthodes d'essai

Les méthodes d'essai de pollution qui ont été mises au point peuvent être classées en deux catégories:

- la méthode du brouillard salin (section 3) dans laquelle un isolateur propre et mouillé est mis sous tension et puis soumis à une pollution ambiante définie;
- la méthode de la couche solide (section 4) dans laquelle un isolateur avec une couche sèche et uniforme d'une pollution solide définie est mis sous tension et puis humidifié.

Les articles de cette section s'appliquent aux deux méthodes.

1.3.17 non-soluble deposit density (S_N): Amount of non-soluble material in the deposit on a given surface of the insulator (metal parts and assembling materials are not to be included in this surface), divided by the area of this surface; it is generally expressed in mg/cm².

1.3.18 degree of pollution: Value of the quantity (salinity, salt deposit density) which characterizes the artificial pollution applied to the test insulator.

1.3.19 reference salinity: Value of the salinity used to characterize an individual test.

1.3.20 reference salt deposit density: Value of the salt deposit density used to characterize an individual test: it is defined as the average of the salt deposit density values measured on a few insulators (or on parts of them), which are chosen for this purpose from among the contaminated ones prior to their submission to any test.

1.3.21 specified withstand degree of pollution: Reference degree of pollution at which an insulator shall withstand the specified test voltage in at least three individual tests out of four, under the conditions described in the relevant clauses 3.5 or 4.6.

1.3.22 maximum withstand degree of pollution: Highest degree of pollution at which an insulator has withstood at least three individual tests out of four at the specified test voltage, under the conditions described in 5.1.1.

1.3.23 specified withstand voltage: Test voltage at which an insulator shall withstand the specified degree of pollution in at least three individual tests out of four, under the conditions described in the relevant clauses 3.5 or 4.6.

1.3.24 maximum withstand voltage: Highest test voltage at which an insulator has withstood at least three individual withstand tests out of four at the specified degree of pollution, under the conditions described in 5.1.2.

1.3.25 50 % withstand voltage: Test voltage at which an insulator has 50 % probability to withstand one individual test (see 5.1.3).

Section 2: General test requirements

2.1 Test methods

The pollution test methods which have been developed can be classified into two categories:

- the salt fog method (section 3) in which a clean and wet insulator is energized and then subjected to a defined ambient pollution;
- the solid layer method (section 4) in which an insulator with a dry, uniform layer of a defined solid pollution is energized and then humidified.

The following clauses in this section apply to both methods.

2.2 Préparation de l'isolateur pour l'essai

2.2.1 Configuration d'essai

La position verticale est suggérée en général pour comparer différents types d'isolateurs. Des essais dans d'autres positions (inclinée, horizontale) reproduisant des conditions réelles de service peuvent être effectués après accord entre le fabricant et l'acheteur. S'il y a des raisons particulières pour ne pas essayer les isolateurs en position verticale (par exemple: traversées murales et isolation longitudinale de disjoncteurs) on ne doit prendre en considération que la position de service.

La distance minimale d'isolement entre tout point de l'isolateur et tout objet relié à la terre, sauf la structure qui supporte l'isolateur et, le cas échéant, les rampes des pulvérisateurs, ne doit pas être inférieure à 0,5 m par 100 kV de tension d'essai et, en tout cas, jamais inférieure à 1,5 m.

L'isolateur doit être placé dans la chambre d'essai, avec les accessoires métalliques qui en font partie intégrante.

Les configurations de la structure de soutien et les parties métalliques sous tension doivent, au moins en deçà de la distance minimale de l'isolateur, reproduire celles prévues en service.

En ce qui concerne leur influence sur les résultats d'essai, l'expérience dont on dispose indique que:

- les capacités externes, par exemple celles des armatures métalliques, n'affectent pas les résultats de façon significative;
- les caractéristiques des parties internes peuvent affecter la valeur de tenue.

2.2.2 Nettoyage de l'isolateur

L'isolateur doit être nettoyé très soigneusement pour supprimer toute trace d'impureté et de graisse. Après nettoyage, les parties isolantes de l'isolateur ne doivent pas être touchées avec les mains.

La surface de l'isolateur est jugée comme étant suffisamment propre et débarrassée de toute trace de graisse quand on observe de larges zones mouillées continues après rinçage.

Dans le cas de la méthode de la couche solide avant la première application de pollution, un frottement doit être fait à l'aide d'une pâte d'eau et de matière inerte telle que le kaolin ou, alternativement, du Tonoko ou du kieselguhr; puis l'isolateur doit être complètement rincé à l'eau du robinet. On peut ajouter un détergent à la pâte.

Avant chaque nouvelle application de pollution, l'isolateur doit être complètement rincé à nouveau à l'eau du robinet seulement. Un essuyage manuel peut s'avérer nécessaire si les niveaux de S_D ou si les résultats d'essai deviennent inconsistants.

Dans le cas de la méthode du brouillard salin, on doit utiliser de l'eau préférablement chauffée à environ 50 °C, additionnée de trisodium de phosphate ou d'autre détersif, après quoi l'isolateur doit être complètement rincé avec de l'eau du robinet. Avant ce traitement final, un frottement tel que pour la méthode de la couche solide peut, si nécessaire, être effectué.

2.2 Arrangement of the insulator for the test

2.2.1 Test configuration

The vertical position is in general suggested for comparison of different insulator types. Tests in other positions (inclined, horizontal reproducing) actual service conditions may be carried out when agreed between the manufacturer and the purchaser. When there are special reasons not to test insulators in the vertical position (e.g. wall bushings and circuit-breaker longitudinal insulation), only the service position shall be considered.

The minimum clearances between any part of the insulator and any earthed object other than the structure which supports the insulator and the columns of the nozzles, when used, shall be not less than 0,5 m per 100 kV of the test voltage and, in any case, not less than 1,5 m.

The insulator shall be erected in the test chamber complete with any metal fittings which are an integral part of it.

The configuration of the supporting structure and the energized metal parts, at least within the minimum clearance from the insulator, shall reproduce those expected in service.

As regards their influence on the test results, the available experience indicates that:

- external capacitances, e.g. due to fittings, do not significantly affect the results;
- the characteristics of internal components may affect the withstand value.

2.2.2 Insulator cleaning

The insulator shall be carefully cleaned so that all traces of dirt and grease are removed. After cleaning, the insulating parts of the insulator shall not be touched by hand.

The surface of the insulator is deemed to be sufficiently clean and free from any grease if large continuous wet areas are observed after rinsing.

In the case of the solid-layer method, before the first contamination, scrubbing with a slurry of water and inert material such as kaolin or, as an alternative, Tonoko or kieselguhr shall be done, after which the insulator shall be thoroughly rinsed with tap water. A detergent may be added to the slurry.

Before every subsequent contamination, the insulator shall again be thoroughly washed with tap water only. Hand wiping might be necessary, if either the S_D -levels or the test results become inconsistent.

In the case of the salt-fog method, water, preferably heated to about 50 °C, with the addition of trisodium phosphate or other detergent, shall be used, after which the insulator shall be thoroughly rinsed with tap water. Before this final treatment, scrubbing as for the solid-layer method may be done if necessary.

NOTE - Au besoin, les parties métalliques et les matériaux de montage peuvent être peints avec de la peinture résistante à l'eau saline pour garantir qu'aucun produit corrosif ne coule sur la surface de l'isolateur pendant un essai.

2.3 Prescriptions concernant le circuit d'essai

2.3.1 Tension d'essai

Au cours de l'essai, l'isolateur doit être continuellement soumis à la tension d'essai spécifiée de la polarité spécifiée.

On ne doit appliquer aucun facteur de correction de l'humidité.

NOTE - L'application d'un facteur de correction de densité de l'air est en cours d'étude.

Le facteur d'ondulation de la tension d'essai, démontré de façon convenable, doit être inférieur ou égal à 3 % pour un courant de 100 mA avec une charge résistive.

La chute de tension relative (figure 2) se produisant au cours d'essais individuels et se traduisant par une tenue ne doit pas dépasser 10 %.

NOTE - Des critères pour démontrer que les chutes de tension relatives supérieures ou égales à 10 % sont acceptables, sont en cours d'examen. Provisoirement, des chutes de tension relatives excédant 10 %, mais inférieures à 15 %, peuvent être tolérées pourvu que la moyenne des chutes de tension relatives, évaluée pendant l'impulsion de courant correspondante, n'excède pas 5 %.

Le dépassement de tension relatif (figure 2), dû habituellement à la diminution de charge causée par l'extinction des décharges électriques sur la surface de l'isolateur, ne doit pas dépasser 10 %.

Si un contournement survient pendant qu'un dépassement de tension est entre 5 % et 10 %, l'essai n'est pas valable.

2.3.2 Caractéristiques des systèmes de mesure

Les systèmes utilisés pour le mesurage de la tension et des courants de fuite doivent avoir une fréquence limite supérieure d'au moins 1 kHz.

2.3.3 Identification d'un contournement

Le pontage complet de l'isolateur en essai par l'arc du court-circuit dans le cas d'un contournement apparent doit être démontré. L'un des critères suivants est suffisant.

- la mesure de la tension indique clairement une chute à la tension d'arc;
- les mesures de courant indiquent le court-circuit de tout le circuit d'essai par un arc;
- la valeur crête du courant du circuit d'essai, mesurée dans la gamme des micro-secondes, avec une résistance de réponse appropriée, est supérieure à 50 % de la valeur U_t/R_s ;
- des enregistrements photographiques ou par vidéo avec une résolution suffisante démontrent clairement l'arc de court-circuit.

NOTE - If necessary, the metal parts and the assembling materials can be painted with a salt-water resistant paint to ensure that no corrosion products wash down on to the insulating surface during a test.

2.3 Requirements for the test circuit

2.3.1 Test voltage

Throughout the test, the insulator shall be continuously energized at the specified test voltage and polarity.

No humidity correction factor shall be applied.

NOTE - The application of an air density correction factor is under consideration.

The ripple factor of the test voltage demonstrated in a suitable way, shall be $\leq 3\%$ for a current of 100 mA with a resistive load.

The relative voltage drop (figure 2) occurring during individual tests resulting in withstand shall not exceed 10 %.

NOTE - Criteria for demonstrating that relative voltage drops $> 10\%$ are acceptable are under consideration. Provisionally, relative voltage drops exceeding 10 %, but not 15 %, may be tolerated, provided that the mean of the relative voltage drops evaluated during the whole of the corresponding current pulse does not exceed 5 %.

The relative voltage overshoot (figure 2), usually due to load-release caused by extinction of electrical discharges on the insulator surface, shall not exceed 10 %.

If a flashover occurs during the time when a relative voltage overshoot is between 5 % and 10 %, the test is not valid.

2.3.2 Characteristics of the measuring systems

The systems used for measuring voltage and leakage current shall have an upper limiting frequency of at least 1 kHz.

2.3.3 Identification of flashover

The complete bridging of the insulator under test by the short-circuit arc in the case of apparent flashover shall be demonstrated. One of the following criteria is sufficient:

- the voltage recording clearly indicates a breakdown to arc-voltage;
- the current measurements indicate the short-circuit of the complete circuit by an arc;
- the peak value of the current of the test circuit, measured in the microsecond range with a shunt resistor of suitable response, is higher than $0,5 U_t/R_s$;
- photographic or video recordings with sufficient resolution clearly show the complete short-circuit arc.

Section 3: Méthode du brouillard salin

3.1 Solution saline

La solution saline doit être faite de chlorure de sodium (NaCl) de pureté commerciale avec de l'eau du robinet.

NOTE - L'eau du robinet à forte dureté, c'est-à-dire avec une teneur en CaCO_3 équivalent supérieure à 350 g/m^3 peut provoquer des dépôts de calcaire sur la surface de l'isolateur. Il est alors conseillé d'utiliser de l'eau désionisée pour la préparation de la solution saline. La dureté de l'eau du robinet est mesurée en termes de teneur en CaCO_3 équivalent, conformément au «Dictionnaire Condensé de Chimie» révisé par Gessner G. Hawley, Encyclopédie de Chimie, Van Nostrand Reinhold Company, New York (USA), 1971.

La salinité à utiliser doit avoir l'une des valeurs suivantes: 2,5; 3,5; 5; 7; 10; 14; 20; 28; 40; 56; 80; 112; 160; 224 kg/m^3 .

La tolérance maximale admissible sur la salinité est de $\pm 5 \%$ de la valeur spécifiée. Il est recommandé de déterminer la salinité soit en mesurant la conductivité, soit en mesurant la masse volumique, et en faisant une correction pour tenir compte de la température. Le tableau 1 donne la correspondance entre les valeurs de la salinité, de la conductivité volumique et de la masse volumique de la solution à une température de 20°C .

Lorsque la température de la solution n'est pas de 20°C , les valeurs de la conductivité et de la densité doivent être corrigées selon les formules (1) ou (2).

On doit faire attention à ce que la température de la solution saline soit entre 5°C et 30°C , car on ne dispose d'aucune expérience pour valider des essais effectués hors de cette gamme de températures de solution.

Tableau 1 – Méthode du brouillard salin: correspondance entre la valeur de salinité, la conductivité volumique et la densité de la solution à une température de 20°C

Salinité S_a kg/m^3	Conductivité volumique σ_{20} S/m	Densité Δ_{20} kg/m^3
2,5	0,43	—
3,5	0,60	—
5	0,83	—
7	1,15	—
10	1,6	—
14	2,2	—
20	3,0	—
28	4,1	1018,0
40	5,6	1025,9
56	7,6	1037,3
80	10	1052,7
112	13	1074,6
160	17	1104,5
224	20	1140,0

Section 3: Salt fog method

3.1 Salt solution

The salt solution shall be made of sodium chloride (NaCl) of commercial purity and tap water.

NOTE - Tap water with high hardness, e.g. with a content of equivalent CaCO_3 greater than 350 g/m^3 , can cause limestone deposits on the insulator surface. In this case the use of deionized water for preparation of the salt solution is recommended. Hardness of tap water is measured in terms of content of equivalent CaCO_3 in accordance with the Condensed Chemical Dictionary, revised by Gessner G. Hawley: Encyclopedia of Chemistry; Van Nostrand Reinhold Company New York (USA), 1971.

The salinity to be used shall be one of the values: 2,5; 3,5; 5; 7; 10; 14; 20; 28; 40; 56; 80; 112; 160; 224 kg/m^3 .

The maximum permissible tolerance in salinity is $\pm 5\%$ of the specified value. It is recommended that the salinity be determined either by measuring the conductivity or by measuring the density with a correction for temperature. Table 1 gives the correspondence between the value of salinity, volume conductivity and density of the solution at a temperature of 20°C .

When the solution temperature is not at 20°C , conductivity and density values shall be corrected according to formulas (1) or (2).

Care shall be taken that the temperature of the salt solution is between 5°C and 30°C , since no experiment is available to validate tests performed outside this range of solution temperature.

Table 1 – Salt-fog method: correspondence between the value of salinity, volume conductivity and density of the solution at a temperature of 20°C

Salinity S_a kg/m^3	Volume conductivity σ_{20} S/m	Density Δ_{20} kg/m^3
2,5	0,43	—
3,5	0,60	—
5	0,83	—
7	1,15	—
10	1,6	—
14	2,2	—
20	3,0	—
28	4,1	1018,0
40	5,6	1025,9
56	7,6	1037,3
80	10	1052,7
112	13	1074,6
160	17	1104,5
224	20	1140,0

La correction de la conductivité doit être effectuée en utilisant la formule suivante:

$$\sigma_{20} = \sigma_{\theta} [1 - b (\theta - 20)] \quad (1)$$

où

θ est la température de la solution (°C);

σ_{θ} est la conductivité volumique à la température de θ °C (S/m);

σ_{20} est la conductivité volumique à la température de 20 °C (S/m);

b est le facteur dépendant de la température θ , selon le tableau 2.

Tableau 2 – Correspondance entre la température de la solution et le facteur b

θ	b
5	0,03156
10	0,02817
20	0,02277
30	0,01905
NOTE - Pour d'autres valeurs de la température θ , comprises entre 5 °C et 30 °C, le facteur b est obtenu par interpolation.	

La correction de densité doit être faite en utilisant la formule suivante:

$$\Delta_{20} = \Delta_{\theta} [1 + (200 + 1,3S_a) (\theta - 20) \times 10^{-6}] \quad (2)$$

où

θ est la température de la solution (°C);

Δ_{θ} est la masse volumique à la température de θ °C (kg/m³);

Δ_{20} est la masse volumique à la température de 20 °C (kg/m³);

S_a est la salinité (kg/m³).

Cette formule de correction n'est valable que pour des salinités supérieures à 20 kg/m³.

3.2 Système de pulvérisation

Le brouillard est produit dans la chambre d'essai à l'aide d'un nombre spécifié de pulvérisateurs qui atomisent la solution grâce à un courant d'air comprimé qui souffle perpendiculairement à l'ajutage de la solution. Les ajutages sont constitués de tubes résistant à la corrosion, le diamètre intérieur de l'ajutage d'air est de 1,2 mm $\pm$ 0,02 mm et le diamètre intérieur de l'ajutage de solution est de 2,0 mm $\pm$ 0,02 mm. Les deux ajutages ont un diamètre extérieur de 3,0 mm $\pm$ 0,05 mm, et les extrémités des ajutages sont coupées perpendiculairement à l'axe et bien polies.

L'extrémité de l'ajutage de solution doit être situé sur l'axe de l'ajutage d'air avec une tolérance de $\pm 0,05$ mm. La distance entre l'extrémité de l'ajutage d'air et la ligne centrale de l'ajutage de solution doit être de 3 mm $\pm$ 0,05 mm. Les axes des ajutages doivent être sur un même plan avec une tolérance de $\pm 0,05$ mm.

The conductivity correction shall be made using the following formula:

$$\sigma_{20} = \sigma_{\theta} [1 - b (\theta - 20)] \quad (1)$$

where

θ is the solution temperature (°C);

σ_{θ} is the volume conductivity at a temperature of θ °C (S/m);

σ_{20} is the volume conductivity at a temperature of 20 °C (S/m);

b is the factor depending on temperature θ , as given in table 2.

Table 2 – Correspondence between the solution temperature and the factor b

θ	b
5	0,03156
10	0,02817
20	0,02277
30	0,01905
NOTE - For other values of temperature θ , within the range of 5 °C to 30 °C, the factor b is obtained by interpolation.	

The density correction shall be made using the following formula:

$$\Delta_{20} = \Delta_{\theta} [1 + (200 + 1,3 S_a) (\theta - 20) \times 10^{-6}] \quad (2)$$

where:

θ is the solution temperature (°C);

Δ_{θ} is the density at a temperature of θ °C (kg/m³);

Δ_{20} is the density at a temperature of 20 °C (kg/m³);

S_a is the salinity (kg/m³).

This correction formula is only valid for salinities over 20 kg/m³.

3.2 Spraying system

The fog is produced in the test chamber by means of a specified number of fog spray nozzles which atomize the solution by a stream of compressed air from the air nozzle blowing at right angles to the solution nozzle. The nozzles consist of corrosion resistant tubes, the internal diameter of the air nozzles being 1,2 mm $\pm$ 0,02 mm and the internal diameter of the solution nozzles being 2,0 mm $\pm$ 0,02 mm. Both nozzles shall have an outside diameter of 3,0 mm $\pm$ 0,05 mm and the ends of the nozzles shall be square-cut and polished.

The end of the solution nozzle shall lie on the axis of the air nozzle to within $\pm 0,05$ mm. The distance between the end of the air nozzle and the central line of the solution nozzle shall be 3 mm $\pm$ 0,05 mm. The axes of the two nozzles shall lie in the same plane to within $\pm 0,05$ mm.

La figure 3 montre une construction type de pulvérisateur de brouillard.

Les pulvérisateurs doivent être disposés sur deux colonnes parallèles et de chaque côté de l'isolateur, qui doit avoir son axe dans le même plan que les colonnes, c'est-à-dire qu'un isolateur vertical doit être essayé avec des colonnes verticales et un isolateur horizontal avec des colonnes horizontales. Dans le cas d'un isolateur incliné (voir la figure 4) le plan contenant l'isolateur et les colonnes doit couper le plan horizontal suivant une ligne située à angle droit par rapport à l'axe de l'isolateur; dans ce cas, l'axe des ajutages de solution est vertical. La distance entre les ajutages de solution et l'axe de l'isolateur doit être de $3,0 \text{ m} \pm 0,05 \text{ m}$.

Les pulvérisateurs doivent être espacés à des intervalles de 0,6 m. Chaque pulvérisateur envoie son jet perpendiculairement à l'axe de la colonne vers le pulvérisateur correspondant de l'autre colonne et dans un angle de 1° par rapport au plan formé par les pulvérisateurs. On peut vérifier cet alignement pour des pulvérisateurs en colonnes verticales en abaissant les ajutages de solution, en injectant de l'eau par les ajutages d'air et en l'orientant vers les pulvérisateurs opposés. Puis on relève les ajutages de solution jusqu'à leur position de fonctionnement. Il est préférable que le milieu de l'isolateur se trouve au point milieu des colonnes de pulvérisateurs. Les deux colonnes de pulvérisateurs doivent se prolonger d'au moins 0,6 m au-delà des deux extrémités de l'isolateur.

Le nombre minimal N de pulvérisateurs par colonne doit être, pour une longueur H en mètres de l'isolateur:

$$N = \frac{H}{0,6} + 3$$

Les pulvérisateurs doivent être alimentés avec un air filtré ne contenant pas d'huile, sous une pression relative de $(7,0 \pm 0,35) \times 10^5 \text{ Pa}$.

Le débit de solution alimentant chaque ajutage de solution doit être de $(0,5 \pm 0,05) \text{ dm}^3/\text{min}$ pendant la durée de l'essai, et la tolérance sur le débit global alimentant l'ensemble des ajutages doit être de $\pm 5\%$ de la valeur nominale.

3.3 Conditions avant de commencer l'essai

L'essai doit commencer lorsque l'isolateur, nettoyé selon le 2.2.2, est complètement mouillé.

Au début de l'essai, l'isolateur doit être en équilibre thermique avec l'air de la chambre d'essai. De plus, la température ambiante ne doit pas être inférieure à 5°C , ni supérieure à 40°C et sa différence avec la température de la solution saline ne doit pas excéder 15 K.

L'isolateur est mis sous tension, la pompe de la solution saline et le compresseur d'air sont mis en marche: on estime que l'essai est commencé dès que l'air comprimé a atteint la pression de fonctionnement normale à la sortie des ajutages.

Figure 3 shows a typical construction of the fog spray nozzle.

The fog spray nozzles shall be in two columns parallel to and on opposite sides of the insulator which shall have its axis in the same plane as the columns, i.e. a vertical insulator shall be tested with vertical columns and a horizontal insulator with horizontal columns. In the case of an inclined insulator (see figure 4) the plane containing the insulator and the columns shall intersect the horizontal plane in a line at right angles to the insulator axis; in this case, the axis of the solution nozzles is vertical. The distance between the solution nozzles and the insulator axis shall be $3 \text{ m} \pm 0,05 \text{ m}$.

The fog spray nozzles shall be spaced at 0,6 m intervals, each air nozzle pointing at right angles to the column axis towards its counterpart on the other column and within an angle of 1° to the plane of the fog spray nozzles. This alignment can be checked for fog spray nozzles on vertical columns by lowering the solution nozzles, and passing water through the air nozzles and directing it towards the opposing nozzles. Then the solution nozzles are raised to the operating position. The mid-point of the insulator shall preferably be in line with the mid-points of the columns of fog spray nozzles. Both columns shall extend beyond the insulator at both ends by at least 0,6 m.

The minimum number N of fog spray nozzles per column shall be, for a length H in metres of the insulator:

$$N = \frac{H}{0,6} + 3$$

The air nozzles shall be supplied with filtered, oil-free air at a relative pressure of $(7,0 \pm 0,35) \times 10^5 \text{ Pa}$.

The flow of solution to each solution nozzle shall be $(0,5 \pm 0,05) \text{ dm}^3/\text{min}$ for the period of the test and the tolerance on the total flow to all sprays shall be $\pm 5 \%$ of the nominal value.

3.3 Conditions before starting the test

The test shall start while the insulator, cleaned as recommended in 2.2.2, is completely wet.

At the start of the test the insulator shall be in thermal equilibrium with the air in the test chamber. In addition the ambient temperature shall be not less than 5°C nor greater than 40°C and its difference from the temperature of the salt solution shall not exceed 15 K.

The insulator is energized, the salt-solution pump and air compressor are switched on, and the test is deemed to have started as soon as the compressed air has reached the normal operating pressure at the nozzles.

3.4 Préconditionnement

L'isolateur, nettoyé selon le 2.2.2, est soumis à une salinité égale ou supérieure à celle de l'essai utilisant une tension de preconditionnement en courant alternatif. Dans le cas d'appareillages tels que traversées isolées murales, transducteurs et parafoudres, la tension maximum de preconditionnement en c.a. autorisée doit être fournie par le fabricant de l'objet en essai.

La tension de preconditionnement doit être maintenue pendant 20 min sauf si le contournement se produit avant. Si l'isolateur n'a pas contourné, la tension doit être augmentée par paliers de 10 % de la tension d'essai toutes les 5 min jusqu'à ce qu'un contournement se produise ou jusqu'à que la plus haute tension de preconditionnement autorisée soit atteinte et maintenue pendant 5 min.

Si un contournement se produit, la tension doit être réappliquée et augmentée aussi rapidement que possible à 90 % de la tension de contournement déjà obtenue, et aussitôt après augmentée par paliers de 5 % de la tension de contournement toutes les 5 min jusqu'à ce qu'un contournement survienne ou que l'on atteigne la tension de preconditionnement autorisée la plus élevée. Si un contournement survient, cette dernière opération est exécutée à nouveau six fois. Après les huit contournements, le brouillard doit être éliminé, on doit laver l'isolateur à l'eau du robinet et commencer les essais dès que possible.

Le preconditionnement sous tension continue peut faire l'objet d'un accord entre les parties. Le nombre de contournements doit être choisi à partir de l'expérience dont on dispose.

Si aucun contournement ne survient à la tension maximum de preconditionnement et à la salinité maximale, le processus de preconditionnement est arrêté et considéré comme non achevé.

NOTES

- 1 Les utilisateurs de ce processus concordent tous sur le fait que les pics de courant élevé et le contournement lui-même dans un essai de contournement enlèvent les dernières traces de graisse de la surface d'un isolateur après un processus de nettoyage efficace (voir 2.2.2). L'introduction du processus de preconditionnement, avant que l'essai en brouillard salin ne soit effectué, assure une préparation convenable de la surface de l'isolateur.
- 2 L'efficacité du preconditionnement en utilisant une tension c.c. est en cours d'examen.
- 3 Il convient que les tensions de preconditionnement les plus élevées soient sélectionnées avec précaution, en particulier pour des appareillages tels que traversées murales, transducteurs et parafoudres.
- 4 Quand on a besoin d'une série d'essais de longue durée, il convient de nettoyer l'isolateur en suivant les recommandations du 2.2.2, puis de le preconditionner conformément aux recommandations de cet article, quand l'état de l'isolateur le demande.
- 5 Si le preconditionnement d'un objet complet en essai demande des tensions de contournement très élevées, le processus peut être effectué en sections, si la construction le permet.

3.5 Essai de tenue

Le but de cet essai est de confirmer la salinité de tenue spécifiée à la tension d'essai spécifiée.

L'essai doit commencer quand l'isolateur et la chambre remplissent les conditions de l'article 3.3 et après avoir preconditionné l'isolateur en accord avec l'article 3.4.

3.4 Preconditioning process

The insulator, cleaned as recommended in 2.2.2, is subjected to a salinity equal to or higher than the one for the test using an a.c. preconditioning voltage. In the case of apparatus such as wall bushings, transducers and arresters, the maximum permissible a.c. preconditioning voltage shall be given by the manufacturer of the test object.

Unless the insulator flashes over earlier, the preconditioning voltage shall be maintained for 20 min. If the insulator does not flash over, the voltage shall be raised in steps of 10 % of the test voltage every 5 min until flashover or until the highest permissible preconditioning voltage is reached and maintained for 5 min.

If flashover occurs, the voltage shall be reapplied and raised as quickly as possible to 90 % of the flashover voltage just obtained, and thereafter increased in steps of 5 % of the flashover voltage every 5 min until flashover occurs or the highest permissible preconditioning voltage is reached. If flashover occurs, the latter process is repeated six further times. After the eight flashovers, the fog shall be cleared, the insulator shall be washed down with tap water and then the tests shall start as soon as possible.

Preconditioning with d.c. voltage may be agreed between the parties. The number of flashovers shall be chosen using available experience.

If no flashover occurs at the highest permissible preconditioning voltage and the highest salinity, the preconditioning process is stopped and considered as not being achieved.

NOTES

- 1 The users of this process are in agreement that the heavy current surging and the flashover itself in a flashover test remove the last traces of grease on an insulator surface after an effective cleaning process (see 2.2.2). The introduction of the preconditioning process, before the salt fog test is performed, ensures a suitable conditioning of the insulator surface.
- 2 The efficiency of preconditioning using d.c. voltage is under consideration.
- 3 In particular for apparatus such as wall bushings, transducers and arresters, the highest preconditioning voltages should be chosen with caution.
- 4 When test series of long duration are needed, the insulator should be cleaned as recommended in 2.2.2 and subsequently preconditioned as recommended in the present clause, whenever the condition of the insulator requires it.
- 5 If preconditioning of the complete test object requires very high flashover voltages, this process can be performed in sections, if the construction allows it.

3.5 Withstand test

The object of this test is to confirm the specified withstand salinity at the specified test voltage.

The test shall start when the test insulator and the chamber conditions fulfil the requirements given in clause 3.3 and after preconditioning the insulator according to clause 3.4.

Une série d'essais individuels est appliquée à l'isolateur à la tension d'essai spécifiée, en utilisant une solution saline ayant la salinité spécifiée en accord avec l'article 3.1. Sauf si le contournement se produit plus tôt, la durée de chaque essai individuel est de 1 h. L'isolateur doit être soigneusement lavé avec de l'eau du robinet avant chaque essai individuel subséquent.

3.6 Critères d'acceptation de l'essai de tenue

Les caractéristiques spécifiées de l'isolateur sont confirmées si aucun contournement ne se produit au cours de trois essais individuels consécutifs, en accord avec la procédure de l'article 3.5. Si un seul contournement a lieu, un quatrième essai doit être effectué et l'isolateur remplit les conditions de l'essai s'il n'y a pas de contournement au cours de cet essai.

Section 4: Méthode de la couche solide

4.1 Composition de la suspension contaminante

Une suspension doit être préparée en utilisant la composition suivante:

- 40 g de kaolin;
- 1 000 g d'eau;
- une quantité adéquate de sel (NaCl) de pureté commerciale.

NOTES

1 Le Tonoko ou tout autre matériau inerte peut être une alternative au kaolin comme matériau inerte. Dans ce cas il convient de noter que ces matériaux peuvent donner des résultats d'essais très différents qu'avec le kaolin. Il convient que ceci soit pris en compte dans la comparaison des résultats ou dans la spécification des tensions et des sévérités d'essai.

2 La quantité de matériaux non solubles sur la surface de l'isolateur affecte les résultats d'essai. Ce problème est en cours d'examen.

On utilise normalement de l'eau du robinet, mais si la conductivité volumique de cette eau est supérieure à 0,05 S/m, l'utilisation d'eau désionisée est nécessaire.

Pour obtenir la densité de dépôt de sel requise ($\pm 15\%$) sur l'isolateur en essai, une valeur appropriée de conductivité volumique de la suspension préparée doit être déterminée en soumettant l'isolateur lui-même (ou une de ses pièces) à une pollution exploratoire préliminaire. La conductivité volumique requise est obtenue en ajustant la quantité de sel dans la suspension. Le tableau 3 ci-dessous fournit la correspondance approximative entre la densité de dépôt de sel de référence sur l'isolateur et la conductivité volumique de la suspension à une température de 20 °C, dans le cas d'isolateurs capot-tige standards contaminés en position verticale avec des conditions atmosphériques normales. La conductivité volumique requise pour d'autres isolateurs peut être différente des valeurs fournies au tableau 3.

A series of individual tests shall be performed on the insulator at the specified test voltage, using a salt solution having the specified salinity in accordance with clause 3.1. Unless flashover occurs earlier, the duration of each individual test shall be 1 h. The insulator shall be carefully washed with tap water before each subsequent individual test.

3.6 Acceptance criteria for the withstand test

The specified characteristics of the insulator are confirmed if no flashover occurs during a series of three consecutive individual tests in accordance with the procedure in clause 3.5. If only one flashover occurs, a fourth test shall be performed and the insulator then passes the test if no further flashover occurs.

Section 4: Solid layer method

4.1 Composition of the contaminating suspension

A suspension shall be prepared using the following composition:

- 40 g kaolin;
- 1 000 g water;
- a suitable amount of salt (NaCl) of commercial purity.

NOTES

1 Tonoko or any other inert material may be an alternative to kaolin as the inert material. In this case it will be noted that these materials may give considerably different test results than kaolin. This has to be taken into account when comparing results or when specifying test voltages and test severities.

2 The amount of non-soluble material on the insulator surface affects the test results. This matter is under consideration.

Normally tap water may be used, but when the volume conductivity of tap water is higher than 0,05 S/m, the use of deionized water is necessary.

To achieve the required salt deposit density ($\pm 15\%$) on the insulator under test, an appropriate value of volume conductivity of the prepared suspension shall be determined by submitting the insulator itself (or part of it) to preliminary exploratory contaminations. The required volume conductivity is reached by adjusting the amount of salt in the suspension. As an approximate guide, table 3 below gives the correspondence between the reference salt deposit density on the insulator and the volume conductivity of the suspension at a temperature of 20 °C, in the case of standard cap and pin insulators contaminated in a vertical position at normal ambient conditions. The volume conductivity required for other insulators can vary from the values given in table 3.

Tableau 3 – Correspondance approximative entre S_D et σ_{20} pour les compositions au kaolin

Densité de dépôt de sel S_D mg/cm ²	Conductivité volumique de la suspension σ_{20} S/m
0,012	0,5
0,018	0,7
0,025	1
0,035	1,4
0,05	2
0,07	2,8
0,1	4
0,14	5,6
0,2	8
0,28	11,2
0,4	16

4.2 Caractéristiques principales des matériaux inertes

Des gammes de valeurs pour les caractéristiques principales des matériaux inertes, définissant le type de kaolin qui doit être utilisé pour la suspension sont données dans le tableau 4 ci-après.

Tableau 4 – Caractéristiques principales du kaolin utilisé dans la suspension de couche solide

Composition en poids %				Granulométrie (distribution cumulative) µm		
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	H ₂ O	16 %	50 %	84 %
40-50	30-40	0,3-2	7-14	0,1-0,2	0,4-1	2-10
NOTE - La distribution des granulométries donne les valeurs des diamètres de trou de tamis en µm à travers lesquels passe le pourcentage indiqué de la masse totale des particules.						

Avant d'ajouter le sel, la conductivité de la suspension de 40 g de matériel inerte dans 1 000 g d'eau déminéralisée ne doit pas dépasser 0,05 S/m.

4.3 Application de la couche de pollution

On prépare une suspension en utilisant la composition décrite à l'article 4.1 que l'on doit appliquer par pulvérisation ou trempage sur l'isolateur sec, nettoyé au préalable comme précisé en 2.2.2, pour obtenir une couche suffisamment uniforme. L'isolateur peut également être immergé dans la suspension, à condition que ses dimensions le permettent.

On doit laisser sécher la couche avant de soumettre l'isolateur à l'essai. Des détails complémentaires sont fournis à l'article B.1.

Table 3 – Approximate correspondence between S_D and σ_{20} for kaolin compositions

Salt deposit density S_D mg/cm ²	Volume conductivity of the suspension σ_{20} S/m
0,012	0,5
0,018	0,7
0,025	1
0,035	1,4
0,05	2
0,07	2,8
0,1	4
0,14	5,6
0,2	8
0,28	11,2
0,4	16

4.2 Main characteristics of the inert material

Ranges of values for the main characteristics of inert material, defining the type of kaolin that should be used for the suspension, are given in the following table 4.

Table 4 – Main characteristics of kaolin used in the solid layer suspension

Weight composition %				Granulometry (cumulative distribution) μm		
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	H ₂ O	16 %	50 %	84 %
40-50	30-40	0,3-2	7-14	0,1-0,2	0,4-1	2-10
NOTE - Granulometry distribution gives the values of the hole diameters of a sieve in μm through which the quoted percentages of the total mass of particles passes.						

Before adding the salt, the conductivity of the suspension of 40 g of inert material in 1 000 g of demineralized water shall not be higher than 0,05 S/m.

4.3 Application of the pollution layer

The suspension prepared using the composition described in clause 4.1 shall be applied by spraying or flowing on the dry insulator, previously cleaned as recommended in 2.2.2, to obtain a reasonably uniform layer. Alternatively the insulator may be dipped in the suspension, provided its size allows this operation.

The layer shall be left to dry prior to the submission of the insulator to the test. More details are given in clause B.1.

Si, après l'opération de contamination, on constate une couche maculée sur l'isolateur, sa surface doit être lavée et nettoyée de nouveau conformément aux indications du 2.2.2. Puis un ou plusieurs essais de contamination supplémentaires doivent être effectués, chacun suivi par son lavage, jusqu'à ce que l'on obtienne une couche continue sur l'isolateur. A ce stade on peut commencer les essais. L'expérience a montré qu'en général quelques opérations répétées suffisent pour préparer la surface de l'isolateur de façon satisfaisante.

NOTES

1 La couche de pollution artificielle peut être appliquée sur la surface de l'isolateur par pulvérisation de la suspension préparée, à l'aide d'un ou deux pulvérisateurs de type commercial. L'orientation des pulvérisateurs est réglée de manière que la couche soit répartie uniformément sur l'ensemble de la surface de l'isolateur. Une distance d'environ 200 mm à 400 mm entre la sortie du pulvérisateur et le bord de l'ailette de l'isolateur convient. Il est conseillé d'agiter constamment la suspension.

Le degré de pollution désiré peut être obtenu grâce à des applications répétées sur l'isolateur.

2 Lorsque l'on trempe l'isolateur, il convient que la suspension soit bien mélangée et il convient de faire tourner l'isolateur de manière à obtenir une couche uniforme.

3 Le temps d'application de la couche peut être réduit en préchauffant l'isolateur. Dans ce cas, il convient que l'isolateur soit en équilibre thermique avec l'air ambiant de la chambre au début de l'essai. Le temps d'application peut également être réduit en séchant la couche entre deux applications successives.

4 La pratique d'inonder la surface de l'isolateur avec la suspension préparée jusqu'à ce qu'elle ruisselle (technique du «flow-on») convient particulièrement à des isolateurs gros ou longs.

5 La nécessité d'un traitement de préconditionnement, comme spécifié pour l'essai de brouillard salin, est en cours d'examen.

6 Il convient que la couche soit aussi uniforme que possible (voir article B.5). Il est possible d'obtenir une couche uniforme dans le cas d'isolateurs du type capot-tige en effectuant une immersion plus soignée en utilisant une procédure conforme à la description suivante.

L'isolateur est contaminé avant d'être monté dans la chambre d'essai.

Si l'isolateur est composé de plusieurs unités en série, chacune d'elles est plongée séparément puis maintenue avec son axe vertical pour toute la durée de l'égouttement du polluant jusqu'au séchage complet de la couche.

7 Dans le cas d'isolateurs longs, une uniformité raisonnable de la couche peut être obtenue en faisant tourner l'isolateur pendant le séchage.

8. L'uniformité de la couche humide peut être contrôlée à l'aide d'une sonde (voir annexe A).

4.4 Détermination du degré de pollution de l'isolateur en essai

Le degré de pollution de l'isolateur en essai exprimé en termes de densité de dépôt de sel (S_D) est déterminé soit sur l'isolateur en essai, soit sur un isolateur identique contaminé de la même manière, comme suit.

Après l'application de la couche sur l'isolateur (ou sur une partie de celui-ci) choisi pour la mesure de la S_D , les gouttes sur les bords des ailettes doivent être enlevées avec précaution avant qu'elles aient séché.

Puis le dépôt est ôté et recueilli soigneusement de la surface de l'isolateur (ou d'une partie de celui-ci). Toute la surface de l'isolateur, ou les surfaces supérieure et inférieure séparément, sont nettoyées dans ce but en excluant les parties métalliques et les matériaux de montage. On trouvera des informations plus détaillées à l'article B.5.

Quand on ne dispose que d'un seul isolateur pour l'essai, la mesure de S_D se fait sur quelques ailettes. La surface qui est nettoyée pour la mesure doit être recontaminée.

If after the contaminating operation a blotched layer is observed on the insulator, its surface shall be washed and cleaned again according to 2.2.2. Then one or more further contaminations shall be performed, each followed by the relevant washing, until a continuous layer is achieved on the insulator. At this time tests can start on it. Experience has shown that, in general, a few repeated operations are sufficient to prepare the insulator surface in a satisfactory manner.

NOTES

1 The artificial pollution layer may be applied on the insulator surface by spraying the prepared suspension through one or two nozzles of a commercial type spray gun. The direction of the spray nozzles is adjusted to ensure a reasonably uniform layer on the whole insulator surface. A distance of about 200 mm to 400 mm between the spray nozzle outlet and the rim of the insulator shed has been found satisfactory. It is desirable to keep the suspension stirred.

The required degree of pollution on the insulator may be obtained by repeated applications.

2 When dipping the insulator, the suspension should be well stirred and the insulator should be turned to achieve uniformity in the layer.

3 The coating time can be reduced by preheating the insulator. In this case the whole insulator should be in thermal equilibrium with the air in the test chamber at the start of the test. The coating time can be reduced also by drying the layer between successive applications.

4 The practice of flooding the prepared suspension over the insulator surface until it is flowing-on ("flow-on" technique) is particularly suitable for large or long insulators.

5 The necessity of a preconditioning process, as specified for the salt fog test, is under consideration.

6 The layer should be as uniform as possible (see clause B.5). A uniform layer can be obtained in the case of cap-and-pin type insulators by more careful dipping using a procedure described as follows.

The insulator is contaminated before its assembly in the test chamber.

If the insulator consists of several units in series, each of them shall be dipped separately and then be kept with its axis vertical for the duration of dripping of the contaminant up to the complete drying of the layer.

7 In the case of long insulators, a reasonable uniformity of the layer can be reached by rotating the insulator while drying.

8 The uniformity of the wet layer may be checked with a probe (see annex A).

4.4 Determination of the degree of pollution of the test insulator

The degree of pollution of the test insulator expressed in terms of salt deposit density (S_D) is determined either on the tested insulators or on an identical insulator contaminated in the same way as follows.

After the contamination of the insulator (or part of it) chosen for S_D measurement, drops at the rims shall be removed carefully before they have dried.

Then the deposit is removed and carefully collected from the surface of the insulator (or a part of it). The whole surface of this insulator, or upper and lower surfaces separately, are cleaned for this purpose excluding metal parts and assembling materials. More details are given in clause B.5.

When only one insulator is available for the test, measurement of S_D is made on a few sheds. The surface which was cleaned for the measurement shall be re-contaminated.

On dissout ensuite le dépôt recueilli dans une quantité déterminée d'eau, de préférence désionisée. La suspension obtenue est constamment agitée pour au moins 2 min avant la mesure de sa conductivité volumique σ_θ (S/m) et sa température θ (°C). La valeur σ_{20} est alors obtenue à partir de σ_θ par la relation de l'article 3.1.

La salinité S_a (kg/m³) de la suspension, lorsque σ_{20} est dans l'intervalle (0,004-0,4) S/m, est déterminée par la formule suivante:

$$S_a = (5,7 \times \sigma_{20})^{1,03}$$

La densité de dépôt de sel S_D (mg/cm²) est obtenue par la formule suivante:

$$S_D = \frac{S_a \times V}{A}$$

où

V est le volume de la suspension (cm³);

A est la surface nettoyée (cm²).

4.5 Procédure d'essai

NOTE - Cet article est encore en cours de discussion et sera revu en fonction des résultats des essais du programme CIGRE/IEEE (voir Introduction).

L'isolateur est préparé pour l'essai en suivant les indications de l'article 4.3 et placé en position d'essai avec la couche de pollution encore sèche.

Un brouillard de vapeur doit être utilisé pour humidifier la couche.

L'objet en essai doit être humidifié au moyen de générateurs de brouillard qui fournissent une distribution de brouillard uniforme sur toute la longueur et autour de l'objet en essai. La température de l'objet en essai au début de l'humidification doit différer de moins de 2 K de la température ambiante dans la chambre d'essai.

La génération de brouillard dans la chambre d'essai doit être maintenue jusqu'à la fin de chaque essai individuel et doit avoir un débit régulier et constant.

Les générateurs de vapeur doivent être placés sous l'objet, aussi près que possible du sol. Ils doivent de toute manière être à une distance d'au moins 1 m de l'objet à l'essai et leur flux ne doit pas être dirigé sur celui-ci (voir aussi l'article B.3).

Le débit de vapeur dans la chambre doit être nul jusqu'à ce que la tension soit appliquée, puis maintenu constant.

Une tente en plastique autour de l'objet en essai peut être utilisée de manière à limiter le volume de la chambre sans pour autant influencer le processus de diffusion du brouillard autour de l'isolateur.

Le taux d'humidification à l'emplacement de l'objet en essai doit être tel qu'indiqué à l'article B.2. Un débit de brouillard de $(0,05 \pm 0,01)$ kg/h par mètre cube du volume de la chambre d'essai fournit normalement le taux d'humidification requis. Ce débit de vapeur peut nécessiter un ajustement afin d'obtenir le taux d'humidification spécifié (voir article B.2).

The collected deposit is then dissolved in a known quantity of water, preferably deionized water. The resulting suspension is stirred for at least 2 min before the measurement of its volume conductivity σ_θ (S/m) and the temperature θ (°C). Then the value σ_{20} is obtained from σ_θ by the relationship given in clause 3.1.

The salinity S_a (kg/m³) of the suspension is determined, when σ_{20} is within the range (0,004 – 0,4) S/m, by the following formula:

$$S_a = (5,7 \times \sigma_{20})^{1,03}$$

The salt deposit density S_D (mg/cm²) is then obtained by the following formula:

$$S_D = \frac{S_a \times V}{A}$$

where:

V is the volume of the suspension (cm³);

A is the area of the cleaned surface (cm²).

4.5 Test procedure

NOTE - This clause is still under discussion and will be reviewed according to the results of the tests in the CGRE/IEEE programme (see Introduction).

The insulator is prepared for the test according to clause 4.3 and placed in its test position with the pollution layer still dry.

Steam fog shall be used for wetting the layer.

The test object shall be wetted by means of fog generators which provide a uniform fog distribution around and over the whole length of the test object. The temperature of the test object at the beginning of the wetting shall be within 2 K of the ambient temperature in the test chamber.

The fog generation in the test chamber shall be maintained until the end of the individual test at a constant steady rate of flow.

The fog generators shall be under the test object as close as possible to the floor level. In any case they shall be at least 1 m away from the test object and their flow shall not be directed towards it (see also clause B.3).

The steam input rate in the chamber shall be zero until the test voltage is applied and maintained constant thereafter.

A plastic tent surrounding the test object may be used to limit the volume of the test chamber without influencing, however, the pattern of the fog development around the insulator.

The wetting rate shall be as given in clause B.2 at the position of the test object. A steam input rate of (0,05 ± 0,01) kg/h per cubic metre of the test chamber volume normally provides the required wetting rate. This steam input rate may need adjustment to meet the required wetting rate (see clause B.2).

NOTES

1 Pour déterminer le débit de vapeur, l'une des méthodes suivantes peut être utilisée:

- mesures de puissance du générateur de vapeur;
- mesure de la quantité d'eau utilisée pour produire la vapeur lors d'un essai individuel.

2 L'action humidificatrice du brouillard est affectée par l'humidité ambiante absolue et la condensation sur les parois.

La tension d'essai est maintenue jusqu'à ce qu'un contournement se produise ou jusqu'à ce que le risque de contournement soit jugé négligeable en se référant à la mesure du courant de fuite ou à toute autre technique. On trouvera des informations plus détaillées dans l'article B.4.

La couche de pollution ne peut être utilisée qu'une seule fois.

4.6 Essai de tenue et critères d'acceptation

Le but de cet essai est de vérifier le degré de pollution tenu spécifié, à la tension d'essai spécifiée. Les caractéristiques spécifiées de l'isolateur sont confirmées si aucun contournement ne se produit au cours de trois essais individuels consécutifs exécutés selon l'article 4.5. Si un seul contournement a lieu, un quatrième essai doit être effectué. L'isolateur remplit les conditions de l'essai s'il n'y a pas de contournement au cours de ce quatrième essai.

Section 5: Caractéristique de tenue des isolateurs

5.1 Détermination des caractéristiques de tenue des isolateurs

Les sections 2, 3 et 4 ont pour objet de vérifier le degré de pollution spécifié tenu à la tension d'essai spécifiée. Cependant, on peut, de plus, déterminer les caractéristiques d'un isolateur pour une gamme de tensions, ou en d'autres termes pour une gamme de lignes de fuite spécifiques de l'isolateur lui-même. Pour cela, le degré maximal de pollution tenu est mesuré à différents niveaux de tensions ou bien la tension maximale tenue est déterminée pour différentes valeurs de degré de pollution. Pour de telles évaluations, des exemples de ces procédures sont décrites ci-dessous (voir 5.1.1 et 5.1.2).

Des indications pour vérifier l'équipement du laboratoire pour des essais de pollution artificielle, quand cela est demandé, sont données dans l'annexe C.

5.1.1 *Détermination de la sévérité de pollution maximum tenue à une tension d'essai donnée*

L'isolateur doit être soumis à plusieurs essais à une tension d'essai donnée et à des degrés différents de pollution, parmi ceux dont la liste est donnée aux articles 3.1 et 4.1. L'essai doit être effectué en suivant la procédure d'essai de l'article 3.5 ou 4.5. Les essais peuvent être effectués dans n'importe quel ordre à condition que:

- a) lorsque le nombre total des essais individuels aboutissant au contournement pour un degré de pollution donné atteint deux, aucun autre essai ne doit être effectué à un degré de pollution identique ou supérieur;
- b) lorsque le nombre total des essais individuels aboutissant à une tenue atteint trois, aucun autre essai ne doit être effectué à des degrés de pollution identiques ou inférieurs.

NOTES

- 1 For the determination of the steam rate, one of the following methods may be used:
 - power measurements for steam fog generation;
 - measurement of the amount of water used for steam generation in an individual test.
- 2 The wetting action of the fog will be affected by the absolute humidity and condensation on the walls.

The test voltage is maintained until flashover occurs or until the risk of flashover is judged negligible by measurement of the leakage current or other techniques. More detailed information is given in clause B.4.

The pollution layer can be used only once.

4.6 Withstand test and acceptance criteria

The object of this test is to confirm the specified withstand degree of pollution at the specified test voltage. The specified characteristics of the insulators are confirmed if no flashover occurs during three consecutive individual tests performed in accordance with clause 4.5. If only one flashover occurs, a fourth test shall be performed and the insulator then passes the test if no further flashover occurs.

Section 5: Withstand characteristic of insulators

5.1 Determination of the withstand characteristics of insulators

Sections 2, 3 and 4 deal with the verification of the specified withstand degree of pollution, at the specified test voltage. In addition, however, the characteristics of an insulator can be determined over a range of voltage, or, in other words, over a range of specific creepage distances of the insulator itself. To do this, the maximum withstand degree of pollution is measured at different voltage levels or the maximum withstand voltage is determined at different degrees of pollution values. Examples of procedures for such evaluations are described below (see 5.1.1 and 5.1.2).

Directions for checking the laboratory equipment for artificial pollution tests, when requested, are given in annex C.

5.1.1 *Determination of the maximum withstand degree of pollution at a given test voltage*

The insulator shall be subjected to several tests at a given test voltage and at different degrees of pollution among those listed in clauses 3.1 and 4.1. The tests shall be performed according to the test procedure of clause 3.5 or 4.5. The tests can be carried out in any sequence provided that:

- a) when the total number of individual tests ending with flashover at any degree of pollution reaches two, no further tests shall be carried out at the same or higher degree of pollution;
- b) when the total number of individual tests resulting in withstand reaches three, no further tests shall be carried out at the same or lower degree of pollution.

Au cas où les essais individuels à un degré de pollution aboutissent à trois tenues, le degré de pollution utilisé peut être déclaré comme étant le degré de sévérité de pollution maximum tenu à la tension d'essai, si le degré de pollution immédiatement supérieur selon l'article 3.1 ou l'article 4.1 conduit à deux contournements.

Dans le cas d'essais de brouillard salin, le préconditionnement (voir article 3.4) doit être réalisé sur l'isolateur avant de déterminer la salinité maximale tenue.

Si quatre tenues résultent de quatre essais individuels pour une salinité de 224 kg/m³, la salinité maximale tenue doit être considérée égale ou supérieure à 224 kg/m³. Si l'on constate un contournement et trois tenues lors de quatre essais individuels à 224 kg/m³, cette salinité doit être considérée comme la salinité maximale tenue.

5.1.2 *Détermination de la tension maximale tenue à un degré de pollution donné*

Une série d'essais individuels doit être réalisée sur des isolateurs ayant un niveau de pollution donné. Chaque essai doit être effectué à chaque niveau d'une série de niveaux de tension, dont chacun aura environ 1,05 fois la valeur du niveau immédiatement inférieur. L'essai doit être effectué en suivant la procédure de l'article 3.5 ou 4.5. Ces essais peuvent être entrepris dans n'importe quel ordre à condition que:

- a) lorsque le nombre total des essais individuels aboutissant au contournement pour tout niveau de tension atteint deux, aucun autre essai ne doit être effectué à un niveau de tension égal ou supérieur;
- b) lorsque le nombre total des essais individuels aboutissant à la tenue d'un niveau de tension donné atteint trois, aucun autre essai individuel ne doit être effectué à un niveau de tension égal ou inférieur.

Au cas où les essais individuels à n'importe quel niveau de tension conduisent à trois tenues, la tension utilisée peut être déclarée être la tension de tenue maximum au degré de pollution utilisé, si le niveau de tension immédiatement supérieur conduit à deux contournements.

Dans le cas d'essais de brouillard salin, le traitement de préconditionnement (voir article 3.4) doit être effectué sur l'isolateur avant de déterminer la tension maximale tenue.

5.1.3 *Détermination de la tension de tenue 50 % à un degré donné de pollution*

L'isolateur doit être soumis à au moins 10 essais «utiles» au degré de pollution donné. L'essai doit être effectué suivant les articles 3.5 et 4.5. La valeur de tension appliquée dans chaque essai doit être variée suivant la procédure de montée et descente. Les paliers de tension ne doivent pas être supérieurs à 10 % de la tension 50 % de contournement présumée.

Le premier essai «utile» doit être choisi comme étant le premier qui donne un résultat différent de celui de l'essai précédent. Seul cet essai et au moins neuf essais ultérieurs doivent être pris comme essais utiles pour la détermination de la tension de tenue 50 %.

Should the individual tests at any degree of pollution lead to three tests resulting in withstand, the degree of pollution used can be declared to be the maximum withstand degree of pollution at the test voltage, provided that the next higher degree of pollution according to clause 3.1 or clause 4.1 leads to two individual tests, ending with flashover.

In the case of salt fog tests, the preconditioning process (see clause 3.4) shall be performed on the insulator before the determination of the maximum withstand salinity.

If four withstands occur in four individual tests at 224 kg/m³ salinity, the maximum withstand salinity shall be assumed as being equal to or greater than 224 kg/m³. If one flashover and three withstands occur in four individual tests at 224 kg/m³ salinity, this salinity shall be considered as the maximum withstand salinity.

5.1.2 *Determination of the maximum withstand voltage at a given degree of pollution*

A series of individual tests shall be carried out on insulators having a given degree of pollution. Each test shall be carried out at any one of a series of voltage levels, each of which shall be about 1,05 times the next lower value. The test shall be performed according to the test procedure of clauses 3.5 or 4.5. The tests can be carried out in any sequence provided that:

- a) when the total number of individual tests ending with flashover at any voltage level reaches two, no further tests shall be carried out at the same or higher voltage level;
- b) when the total number of individual tests resulting in withstand at any voltage level reaches three, no further tests shall be carried out at the same or lower voltage level.

Should the individual tests, at any voltage level, result in three withstands, the voltage used can be declared to be the maximum withstand voltage at that degree of pollution, provided that the next higher voltage level leads to two individual tests ending with flashover.

In case of salt-fog tests, the preconditioning process (see clause 3.4) shall be performed on the insulator before the determination of the maximum withstand voltage.

5.1.3 *Determination of the 50 % withstand voltage at a given degree of pollution*

The insulator shall be subjected to at least ten "useful" tests at the given degree of pollution. The test shall be made in accordance with clause 3.5 or 4.5. The applied voltage level in each test shall be varied according to the up-and-down method. The voltage step shall be not more than 10 % of the expected 50 % withstand voltage.

The first "useful" test shall be selected as being the first one that yields a result different from the preceeding test: only this test and at least nine following tests shall be taken as useful tests to be considered to determine the 50 % withstand voltage.

Le calcul de la tension de tenue 50 % doit être effectué avec la formule suivante:

$$U_{50 \%} = \frac{\sum (n_i \times U_i)}{N}$$

où

U_i est un niveau de tension appliquée;

n_i est le nombre d'essais pratiqués au même niveau de tension U_i ;

N est le nombre d'essais utiles.

De plus amples détails sur la méthode de montée et descente et sur le traitement des résultats sont donnés dans la CEI 60-1.

Alternativement, la méthode du maximum de vraisemblance peut être utilisée pour obtenir $U_{50 \%}$. On peut trouver d'autres informations sur cette méthode dans la littérature spécialisée.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TS 61245-1993

The calculation of the 50 % withstand voltage shall be made using the following formula:

$$U_{50 \%} = \frac{\sum (n_i \times U_i)}{N}$$

where:

U_i is an applied voltage level;

n_i is the number of groups of tests carried out at the same applied voltage level U_i ;

N is the number of useful tests.

More details on the up-and-down method and processing of the relevant results are found in IEC 60-1.

Alternatively, the method of maximum likelihood can be used to obtain $U_{50 \%}$. More information about this method will be found in the relevant literature.

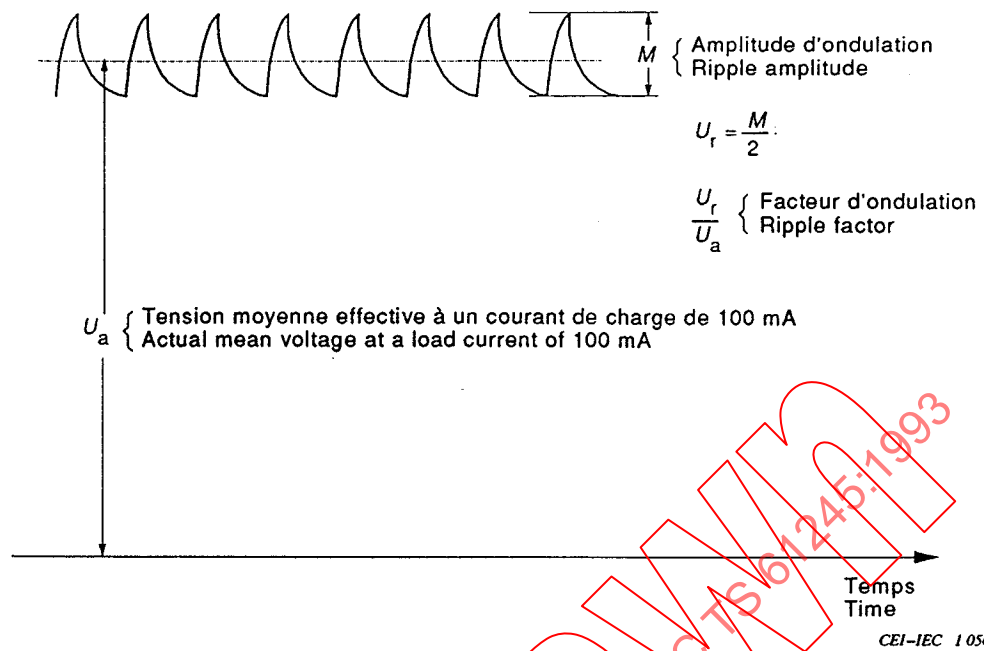


Figure 1– Amplitude d'ondulation et tension moyenne effective, mesurées sur une charge résistive absorbant 100 mA

Ripple amplitude and actual mean voltage, measured on a resistive load absorbing 100 mA

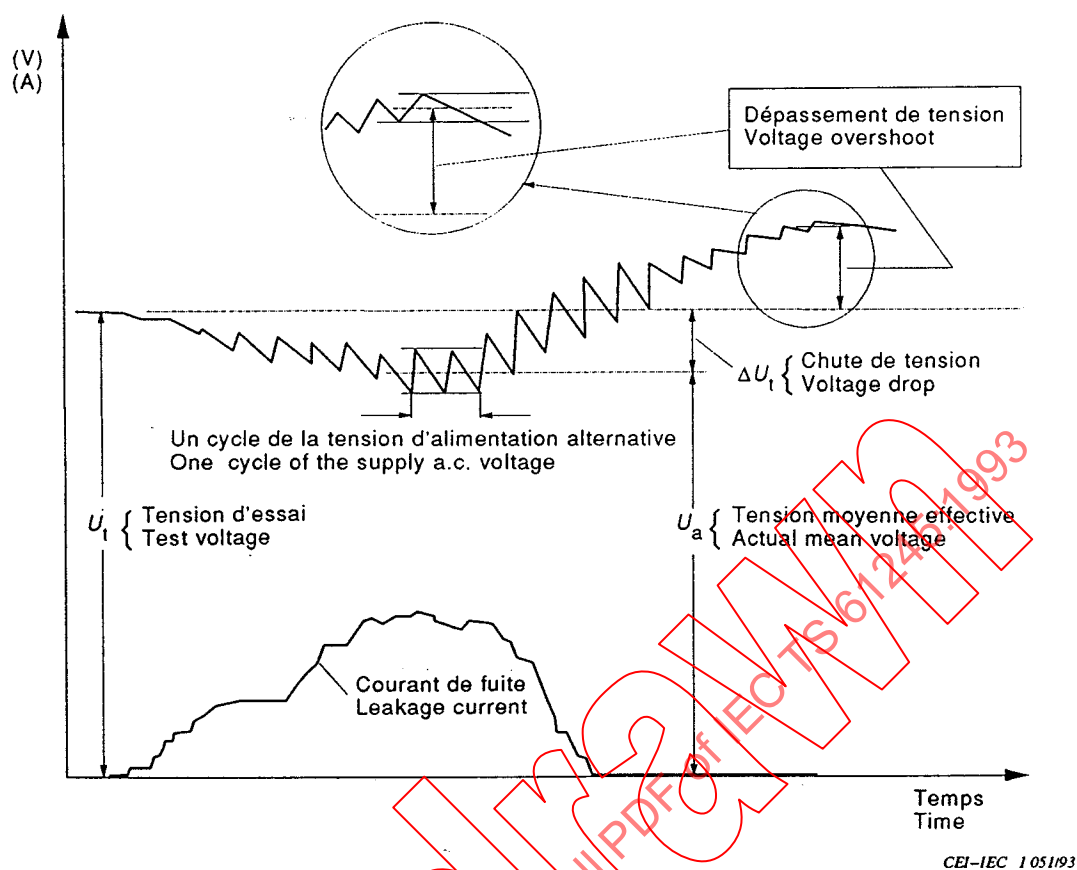
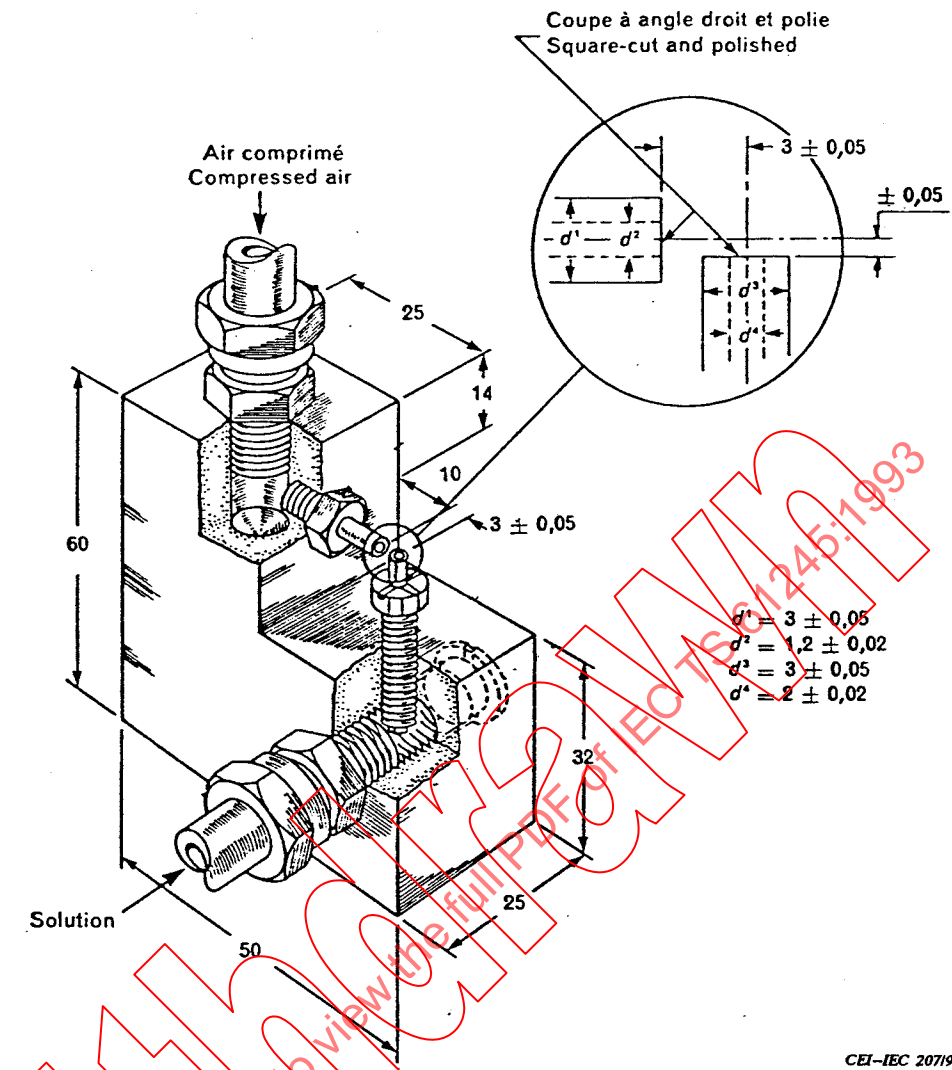


Figure 2 – Chute de tension, dépassement de tension et courant de fuite

Voltage drop and voltage overshoot and leakage current



Dimensions en millimètres

Dimensions in millimetres

Figure 3 – Construction type d'un pulvérisateur de brouillard

Typical construction of fog spray nozzle

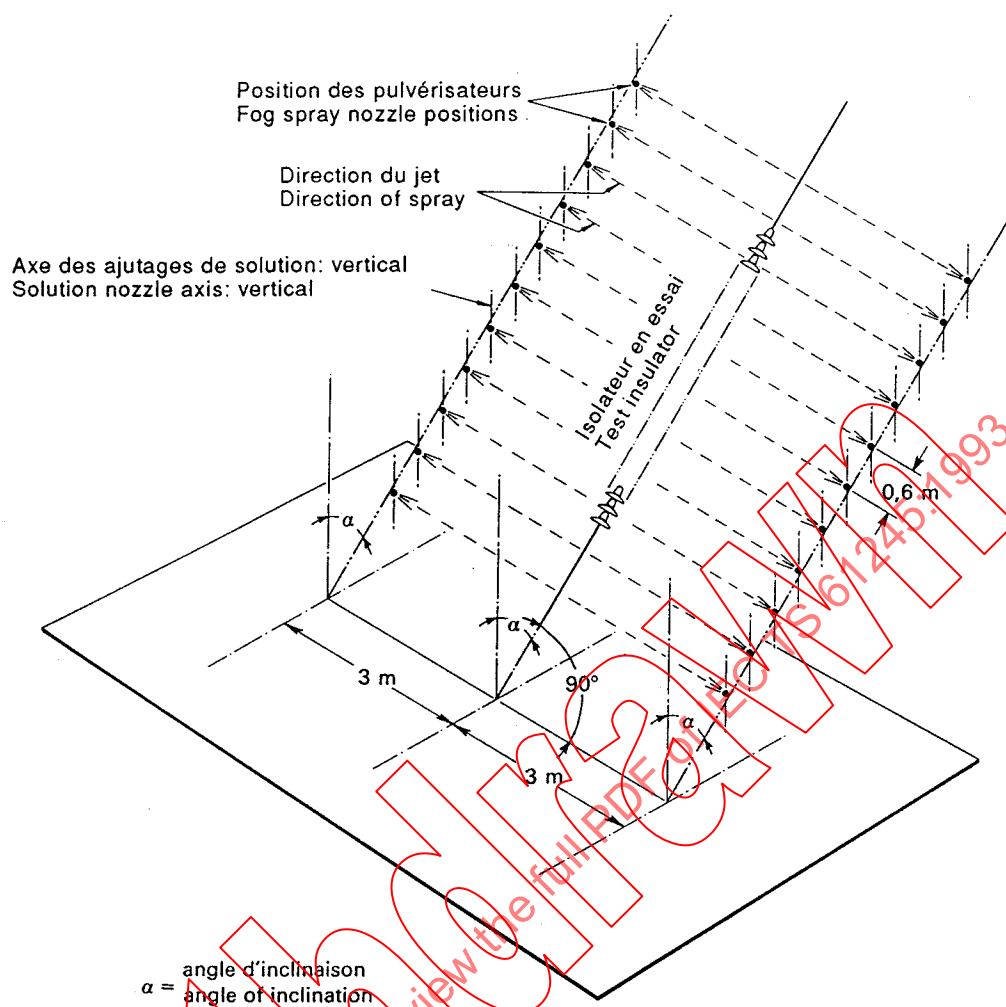


Figure 4 – Disposition d'essai pour isolateurs inclinés

Test layout for inclined insulators

Annexe A (informative)

Méthode pour vérifier l'uniformité de la couche

Le dispositif utilisé pour contrôler l'uniformité de la couche humide sur la surface d'un isolateur comprend une sonde et un instrument de mesure. A titre d'indication, la description d'un tel dispositif est donnée ci-dessous.

– *Sonde* (figure A.1)

Deux électrodes sphériques en acier inoxydable de 5 mm de diamètre et ayant 14 mm de distance entre leurs centres, dépassant de la sonde, doivent être appliquées sur la surface de l'isolateur. On obtient une pression constante sur la surface au moyen de ressorts développant une force de 9 N environ.

– *Instrument de mesure* (figure A.2)

Une source de tension stabilisée par une diode Zener de 6,8 V délivre un courant à la surface comprise entre les électrodes. L'instrument de mesure a une déviation pleine échelle de 50 μA et est protégé par une diode en parallèle.

Des mesures doivent être réalisées en différents endroits de la surface de l'isolateur. L'effet de polarisation doit être pris en compte en manipulant dans un temps le plus court possible le bouton poussoir de l'instrument de mesure.

L'uniformité de la couche est jugée acceptable lorsque les différences entre chaque mesure et leur moyenne exprimée en pourcent de la valeur moyenne ne dépasse pas les limites de ± 30 %.

Annex A

(informative)

Method for checking the uniformity of the layer

The device for checking the uniformity of the wet layer on an insulator surface basically consists of a probe and a meter. As an indication a possible arrangement of such a device is described as follows:

– *Probe* (figure A.1)

Two spherical stainless steel electrodes, 5 mm diameter and 14 mm between centres, overhanging from the probe shall be pressed against the insulator surface. A constant surface pressure is obtained by means of a spring mechanism developing a force of about 9 N.

– *Meter* (figure A.2)

A voltage source stabilized by a Zener-diode at 6,8 V supplies the current across the electrodes and the surface between them. The measuring instrument with a full scale deflection at 50 μ A is protected by a diode in parallel.

Measurements shall be carried out at different points of the insulator surface. The polarization effect shall be taken into account by a momentary operation of the meter push-button.

The uniformity of the layer is deemed acceptable when the difference between each of the measurements and their average, as a percentage of the average value, does not exceed the limits ± 30 %.