

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC
575**

Première édition
First edition
1977

**Essai d'endurance thermomécanique
et essai d'endurance mécanique
des éléments de chaînes d'isolateurs**

**Thermal-mechanical performance test
and mechanical performance test
on string insulator units**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 575: 1977

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 auprès du Bureau Central de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit tirés du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la CEI 27: *Symboles littéraux à utiliser en électro-technique;*
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles;*
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas;*

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale.*

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

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 from the IEC Central Office.

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

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications:

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology;*
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets;*
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams;*

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice.*

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

RAPPORT TECHNIQUE TECHNICAL REPORT

**CEI
IEC
575**

Première édition
First edition
1977

Essai d'endurance thermomécanique et essai d'endurance mécanique des éléments de chaînes d'isolateurs

Thermal-mechanical performance test and mechanical performance test on string insulator units

© CEI 1977 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

U

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
INTRODUCTION	6
Articles	
1. Domaine d'application	6
2. Objet	6
3. Essai d'endurance thermomécanique	8
4. Essai d'endurance mécanique	10
ANNEXE A:	
A1. Justification	14
A2. Mécanique de l'isolateur	14
A3. Notes sur l'essai d'endurance thermomécanique	20
A4. Notes sur l'essai d'endurance mécanique	20
A5. Examen des résultats d'essai	20
Tableau I. Renseignements sur les éléments de chaînes d'isolateurs du type capot et tige essayés	24
Tableau II. Renseignements sur les éléments de chaînes d'isolateurs du type fût long essayés	28
Tableau III. Résumé des résultats d'essai pour les éléments de chaînes d'isolateurs CP 1 à CP 5 du type capot et tige	30
Tableau IV. Résumé des résultats d'essai pour les éléments de chaînes d'isolateurs CP 6 à CP 13 du type capot et tige	32
Tableau V. Résumé des résultats d'essai pour les éléments de chaînes d'isolateurs CP 14 à CP 21 du type capot et tige	34
Tableau VI. Résumé des résultats d'essai pour les éléments de chaînes d'isolateurs du type fût long	36
Tableau VII. Nombre de ruptures observées en dessous des valeurs de charge nominale pour les éléments de chaînes d'isolateurs du type capot et tige	40
Tableau VIII. Nombre de ruptures observées en dessous des valeurs de charge nominale pour les éléments de chaînes d'isolateurs du type fût long	42
A6. Critères pour juger les résultats d'essai	42
Tableau IX. Valeurs de l'indice Q_s pour les éléments de chaînes d'isolateurs du type capot et tige essayés	46
Tableau X. Valeurs de l'indice Q_s pour les éléments de chaînes d'isolateurs du type fût long essayés	48
A7. Conclusions	50

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
INTRODUCTION	7
Clause	
1. Scope	7
2. Object	7
3. Thermal-mechanical performance test	9
4. Mechanical performance test	11
APPENDIX A:	
A1. Background	15
A2. Insulator mechanics	15
A3. Notes on the thermal-mechanical performance test	21
A4. Notes on the mechanical performance test	21
A5. Survey of test results	21
Table I. Particulars relating to the cap and pin type string insulator units tested	25
Table II. Particulars relating to the long rod type string insulator units tested	29
Table III. Summary of test results for cap and pin type string insulator units CP 1 to CP 5	31
Table IV. Summary of test results for cap and pin type string insulator units CP 6 to CP 13	33
Table V. Summary of test results for cap and pin type string insulator units CP 14 to CP 21	35
Table VI. Summary of test results for long rod type string insulator units	37
Table VII. Number of failures observed below rated load values for cap and pin type string insulator units	41
Table VIII. Number of failures observed below rated load values for long rod type string insulator units	43
A6. Criteria for judging test results	43
Table IX. Index values Q_s for cap and pin type string insulator units tested	47
Table X. Index values Q_s for long rod type string insulator units tested	49
A7. Conclusions	51

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**ESSAI D'ENDURANCE THERMOMÉCANIQUE
ET ESSAI D'ENDURANCE MÉCANIQUE
DES ÉLÉMENTS DE CHÂÎNES D'ISOLATEURS**

PRÉAMBULE

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

PRÉFACE

Le présent rapport a été préparé par le Sous-Comité 36B: Isolateurs pour lignes aériennes, du Comité d'Etudes N° 36 de la CEI: Isolateurs.

Lors de la réunion tenue à Prague en 1967, le Sous-Comité 36B a décidé de créer le Groupe de travail 2 en lui donnant pour mission de préparer un rapport sur les essais électromécaniques de longue durée associés à des cycles de température, c'est-à-dire vérifiant le comportement de l'isolateur soumis à des variations de charge et de température.

Le Groupe de travail 2 s'est réuni à Stockholm en 1969, à Vichy en 1970, à Rome en 1971 puis à Paris en 1972. Après des études et des essais effectués dans différents pays pour vérifier les méthodes d'essai et les critères pour juger les résultats d'essai, le Groupe de travail 2 a préparé un projet.

Ce projet fut discuté lors de la réunion tenue à Ankara en 1973. A la suite de cette réunion, un projet, document 36B(Bureau Central)35, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en avril 1974. Pour tenir compte des observations exprimées lors du vote, un autre projet, document 36B(Bureau Central)43, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Procédure des Deux Mois en juillet 1975.

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

Afrique du Sud	Israël	Roumanie
(République d')	Italie	Royaume-Uni
Australie	Japon	Suède
Danemark	Norvège	Suisse
Etats-Unis	Pays-Bas	Turquie
d'Amérique	Pologne	Tchécoslovaquie
Finlande	Portugal	Yougoslavie
France		

Autre publication de la CEI citée dans le présent rapport:

Publication n° 383: Essais des isolateurs en matière céramique ou en verre destinés aux lignes aériennes de tension nominale supérieure à 1 000 V.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**THERMAL-MECHANICAL PERFORMANCE TEST
AND MECHANICAL PERFORMANCE TEST
ON STRING INSULATOR UNITS**

FOREWORD

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

PREFACE

This report has been prepared by Sub-Committee 36B, Insulators for Overhead Lines, of IEC Technical Committee No. 36, Insulators.

At the meeting held in Prague in 1967, Sub-Committee 36B decided to set up Working Group 2 to prepare a report concerning long-time electromechanical tests combined with temperature changes, that is to say tests verifying the insulator behaviour when subject to load and temperature variations.

Working Group 2 met in Stockholm in 1969, in Vichy in 1970, in Rome in 1971 and in Paris in 1972. After studies and tests in various countries to verify test methods and criteria for judging test results Working Group 2 prepared a draft.

This draft was discussed at the meeting held in Ankara in 1973. As a result of this meeting, a draft, Document 36B(Central Office)35, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in April 1974. To take into account the comments expressed at the time of the vote, another draft, Document 36B(Central Office)43, was submitted to the National Committees for approval under the Two Months' Procedure in July 1975.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Netherlands	Sweden
Czechoslovakia	Norway	Switzerland
Denmark	Poland	Turkey
Finland	Portugal	United Kingdom
France	Romania	United States
Israel	South Africa	of America
Italy	(Republic of)	Yugoslavia
Japan		

Other IEC publication quoted in this report:

Publication No. 383: Tests on Insulators of Ceramic Material or Glass for Overhead Lines with a Nominal Voltage Greater than 1 000 V.

ESSAI D'ENDURANCE THERMOMÉCANIQUE ET ESSAI D'ENDURANCE MÉCANIQUE DES ÉLÉMENTS DE CHAÎNES D'ISOLATEURS

INTRODUCTION

Il faut noter que la Publication 383 de la CEI: Essais des isolateurs en matière céramique ou en verre destinés aux lignes aériennes de tension nominale supérieure à 1 000 V, ne comprend pas d'essai de vérification du comportement de l'isolateur soumis à des variations de charge et de température.

Cependant, un essai de longue durée ou un essai d'endurance, sous une forme quelconque, peut fournir d'intéressants renseignements à ce sujet, ce qui est d'une importance essentielle pour la fiabilité en service.

Le présent rapport propose, comme essai de type, un essai thermomécanique pour vérifier la tenue d'un isolateur sur ce point. Il comporte aussi un essai mécanique avec variations de charge, proposé comme essai sur prélèvement. Les caractéristiques des essais thermomécaniques ont été choisies pour être semblables à celles de l'essai établi en pratique dans de nombreux pays. Il doit cependant être signalé que l'influence des tolérances sur quelques-uns des facteurs spécifiés dans les essais (par exemple, changements de température et de charge) et l'influence de facteurs, tels que la charge d'essai, le nombre de cycles de variation de température et de charge, les conditions d'humidité, etc., sont des questions qui restent posées.

Note. — Les articles de ce rapport sont présentés comme pour une norme.

Quand on aura acquis de l'expérience sur l'utilisation des méthodes d'essai décrites dans les articles 3 et 4, on devra pouvoir apprécier l'influence des différents paramètres et donc juger s'il est possible de perfectionner de tels essais et s'il est souhaitable de les introduire dans la Publication 383 comme essais de conception de l'isolateur, essais spéciaux de qualification ou comme essais sur prélèvements.

1. Domaine d'application

Le présent rapport est applicable aux éléments de chaînes d'isolateurs avec partie isolante en céramique ou en verre pour lignes aériennes fonctionnant en courant alternatif et en courant continu à une tension nominale supérieure à 1 000 V.

Il s'applique également aux isolateurs du même type utilisés dans les sous-stations.

Note. — Ce rapport s'applique aussi bien aux éléments de chaînes d'isolateurs du type capot et tige qu'à ceux du type fût long.

2. Objet

Le but actuel de la publication de ce rapport est de définir une procédure normalisée pour effectuer des essais d'endurance sur les isolateurs, de telle façon qu'on puisse acquérir de l'expérience avec ces essais.

Note. — Un essai d'endurance thermomécanique est proposé comme essai principal. Un essai d'endurance mécanique a été ajouté comme essai secondaire et uniquement à titre d'essai sur prélèvements.

THERMAL-MECHANICAL PERFORMANCE TEST AND MECHANICAL PERFORMANCE TEST ON STRING INSULATOR UNITS

INTRODUCTION

It is to be noted that I E C Publication 383, Tests on Insulators of Ceramic Material or Glass for Overhead Lines with a Nominal Voltage Greater than 1 000 V, does not include any tests for verifying insulator behaviour with load variations and temperature variations.

However, long-time tests or performance tests in some form or other can furnish information which is of fundamental importance for the reliability of insulators in operation.

This report proposes a type test of the thermal-mechanical type for testing insulators from this point of view. It also includes a mechanical test with load variations proposed as a sample test. The features of the thermal-mechanical tests were chosen to be similar to established test practices in a number of countries. It should be mentioned however that the influence of tolerances on some of the factors specified in the tests (e.g. temperature and load changes) and the influence of factors such as the test load, number of cycles of load and temperature variation, moisture conditions and so on remain open questions.

Note. — The clauses in this report are set out in the manner of a standard.

When experience of the use of the tests described in Clauses 3 and 4 is available, it may be possible to judge the influence of the various parameters and therefore to assess the possibility of improving such tests and the desirability of introducing them into Publication 383 as design tests, special qualification tests or sample tests.

1. Scope

This report applies to string insulator units with insulating parts of ceramic material or glass intended for a.c. and d.c. overhead lines with a nominal voltage greater than 1 000 V.

This report applies also to insulators of similar design when used in sub-stations.

Note. — This report applies to string insulator units of the cap and pin type as well as to string insulator units of the long rod type.

2. Object

This report is published now with the object of laying down a standard procedure for carrying out insulator performance tests, so that experience with such tests may be obtained.

Note. — A thermal-mechanical performance test is proposed as the primary test. A mechanical performance test has been added as a secondary test for sample test purposes only.

3. Essai d'endurance thermomécanique

Cet essai a une phase initiale de cycles thermiques avec charges et décharges mécaniques, et une phase finale d'essai de rupture des éléments d'isolateur. La phase finale est identique à un essai de rupture électromécanique ou mécanique ordinaire, effectué conformément à la Publication 383 de la CEI. Un tel essai de rupture constitue la base de l'essai d'endurance thermomécanique pour évaluer les résultats d'essai.

Pendant la phase initiale de l'essai, les éléments d'isolateur doivent être soumis à quatre cycles de 24 h de refroidissement et de réchauffage, et à une charge de traction égale à 60% de la charge de rupture électromécanique ou mécanique spécifiée (suivant ce qui est applicable, voir la Publication 383 de la CEI). La charge de traction doit être appliquée aux éléments d'isolateur à la température ambiante avant le début du premier cycle thermique.

Sauf avis contraire, chaque cycle de 24 h doit comprendre un refroidissement à -30 ± 5 °C et un réchauffement à $+40 \pm 5$ °C. Les valeurs des températures concernent l'air ambiant. La succession des températures doit être refroidissement en premier, puis réchauffement. L'équipement d'essai doit être tel qu'il permette de conserver chacune des températures minimale et maximale du cycle de température pendant au moins 4 h consécutives.

La charge de traction doit être entièrement supprimée et réappliquée vers la fin de chaque période de chauffage, excepté la dernière.

A l'issue du quatrième cycle de 24 h et du refroidissement à la température ambiante, la charge de traction doit être supprimée. Le même jour, après la suppression de cette charge, les éléments d'isolateur doivent être soumis individuellement à un essai de rupture électromécanique ou mécanique conformément aux articles 26 ou 27 de la Publication 383 de la CEI; la charge de rupture électromécanique ou mécanique selon les paragraphes 3.14 ou 3.15 de cette publication doit être notée.

L'endurance des éléments d'isolateur sera déterminée par une comparaison des valeurs de la charge de rupture et des types de rupture obtenus pendant l'essai de rupture électromécanique ou mécanique effectué conformément à la Publication 383 de la CEI et le même essai effectué comme phase finale de l'essai d'endurance thermomécanique défini ici.

Notes 1. — La méthode d'essai est schématiquement représentée à la figure 1, page 12.

2. — L'essai d'endurance thermomécanique fait référence à la conception fondamentale de l'isolateur en ce qui concerne les contraintes internes, et ne devrait pas être répété sur des types qui ne diffèrent que par la forme extérieure, c'est-à-dire le disque de la partie isolante ou les extrémités des armatures métalliques servant à l'assemblage. Des changements dans la conception interne ou dans les procédés de fabrication constituent des raisons de répéter l'essai.

L'essai peut ne pas donner d'indications dans la zone des contraintes internes s'il se produit une rupture d'une partie métallique, telle que le logement de rotule, la chape du capot ou la tige de l'isolateur. Dans de tels cas, il est possible d'étudier la conception fondamentale de l'isolateur en utilisant des parties métalliques suffisamment renforcées afin que la rupture se produise dans la zone des contraintes internes de l'isolateur.

Il convient de prendre des précautions pour que le renforcement des parties métalliques n'affecte pas les réactions fondamentales des efforts dans l'isolateur.

3. — Les éléments d'isolateur peuvent être reliés en série et/ou en parallèle quand ils sont soumis aux cycles thermiques et à la charge de 60%. S'ils sont mis en parallèle, les éléments doivent porter une charge égale.
4. — Les haltères qui sont utilisés, par exemple pour l'assemblage des isolateurs du type fût long, ne doivent pas être inclus dans l'essai mécanique puisqu'ils ne font pas partie de la conception interne de l'isolateur (voir la note 2 ci-dessus).
5. — La tension peut être appliquée aux éléments d'isolateur (type B seulement) à n'importe quel moment souhaitable au cours de l'essai, afin de détecter la défaillance mécanique de la partie isolante (perforation), mais sans changer le cycle d'essai.

3. Thermal-mechanical performance test

This test has an initial stage of thermal cycles together with mechanical loading and unloading, and a concluding stage of testing the insulator units to failure. The concluding stage is identical to an ordinary electromechanical or mechanical failing load test to be carried out in accordance with IEC Publication 383. Such a failing load test constitutes the basis of the thermal-mechanical performance test in judging the test results.

During the initial stage of the test, the insulator units shall be subjected to four 24-hour cycles of cooling and heating, and to a tensile load equal to 60% of the specified electromechanical or mechanical failing load (whichever is applicable, see IEC Publication 383). The tensile load shall be applied to the insulator units at room temperature before starting the first thermal cycle.

Unless otherwise agreed, each 24-hour cycle shall comprise a cooling to -30 ± 5 °C and a heating to $+40 \pm 5$ °C. The temperature figures refer to the surrounding air. The temperature sequence shall be first cooling, then heating. The test equipment shall be such as to permit the minimum and maximum temperatures each to be kept during at least four consecutive hours of the temperature cycle.

The tensile load shall be completely removed and re-applied towards the end of each heating period, the last one excepted.

On completion of the fourth 24-hour cycle and cooling to room temperature, the tensile load shall be removed. On the same day, after this load removal, the insulator units shall be subjected individually to an electromechanical or mechanical failing load test in accordance with Clauses 26 or 27 of IEC Publication 383. The electromechanical or mechanical failing load according to Sub-clauses 3.14 or 3.15 of that publication shall be recorded.

The performance of the insulator units will be determined by a comparison of the failing load values and the fracture pattern obtained during the electromechanical or mechanical failing load test in accordance with IEC Publication 383 and the same test carried out as the final stage of the thermal-mechanical performance test defined here.

Notes 1. — The test procedure is schematically represented in Figure 1, page 13.

2. — This thermal-mechanical performance test has reference to the fundamental insulator design in respect of the internal stresses, and should not be repeated on types which differ in outward form only, i.e. the disc of the insulating part or the coupling ends of the metal fittings. Changes in internal design or in manufacturing processes are reasons for re-testing.

The test may not give information on the internally stressed zone if failure occurs in a metal part such as the socket or clevis of a cap or an insulator pin. In such cases, it is possible to investigate the fundamental insulator design by using metal parts suitably strengthened so that failure occurs in the internally stressed zone of the insulator.

Precautions should be taken that strengthening the metal parts does not affect the fundamental stress relationship.

3. — The insulator units may be coupled together in series and/or in parallel when subjected to the thermal cycles and the 60% load. When coupled in parallel, the insulator units must be equally loaded.
4. — Loose coupling pins, for example those used with insulators of the long rod type, should not be included in the mechanical test since they are not part of the internal design of the insulator (see Note 2 above).
5. — Voltage may be applied to the insulator units (Type B only) whenever desired in the course of the test, but without altering the test cycle, in order to detect mechanical failure of the insulating part (puncture).

4. Essai d'endurance mécanique

Remarque. — Cet essai a été ajouté en tant qu'essai d'endurance plus simple, cela pour répondre aux demandes visant à substituer un essai sur prélèvement à l'essai mécanique de 24 h, qui fut supprimé il y a quelques années. On doit noter, cependant, que l'essai d'endurance mécanique proposé semble avoir un effet plus important que celui de l'essai de rupture électromécanique ou mécanique ordinaire dans le cas de défauts de fabrication importants seulement (voir l'annexe A).

Cet essai a une phase initiale de charge et décharge mécanique, et une phase finale d'essai à la rupture des éléments d'isolateur. L'essai final est identique à un essai de rupture électromécanique ou mécanique ordinaire effectué conformément à la Publication 383 de la CEI. Un tel essai de rupture constitue aussi la base de l'essai d'endurance mécanique lorsqu'on désire évaluer les résultats d'essai.

Au cours de la phase initiale de l'essai, les éléments d'isolateur doivent être soumis à une charge de traction égale à 60% de la charge de rupture électromécanique ou mécanique spécifiée (suivant ce qui est applicable, voir la Publication 383 de la CEI. Sauf avis contraire, la charge de traction doit être appliquée et immédiatement retirée quatre fois de suite. Le même jour, après ces charges et décharges, les éléments d'isolateur doivent être soumis individuellement à un essai de rupture électromécanique ou mécanique conformément aux articles 26 ou 27 de la Publication 383 de la CEI. La charge de rupture électromécanique ou mécanique selon les paragraphes 3.14 ou 3.15 de cette publication doit être notée.

L'endurance des éléments d'isolateur sera déterminée par une comparaison des valeurs de la charge de rupture et des types de rupture obtenus pendant l'essai de rupture électromécanique ou mécanique conformément à la Publication 383 de la CEI et le même essai effectué comme phase finale de l'essai d'endurance mécanique défini ici.

Notes 1. — L'essai peut être plus concluant si la charge de 60% est appliquée et retirée plus de quatre fois de suite.

2. — Les éléments d'isolateur peuvent être reliés en série et/ou en parallèle quand ils sont soumis à la charge de 60%. S'ils sont mis en parallèle, les éléments doivent porter une charge égale.

3. — L'essai peut ne pas donner d'indications dans la zone des contraintes internes s'il se produit une rupture d'une partie métallique, telle que le capot, à rotule ou à chape, ou la tige de l'isolateur. Dans de tels cas, cet essai ne convient pas pour un essai sur prélèvements, mais, par accord, il peut être utilisé comme essai de conception ou essai spécial de qualification. Il est possible d'étudier la conception fondamentale de l'isolateur en utilisant des parties métalliques suffisamment renforcées afin que la rupture se produise dans la zone des contraintes internes de l'isolateur.

Il convient de prendre des précautions pour que le renforcement des parties métalliques n'affecte pas les réactions fondamentales des efforts dans l'isolateur.

4. — La tension peut être appliquée aux éléments d'isolation (type B seulement) à n'importe quel moment souhaitable au cours de l'essai, afin de détecter la défaillance mécanique de la partie isolante (perforation).

4. Mechanical performance test

Remark. — This test has been added as a simpler performance test following requests for a sample test to replace the 24-hour mechanical test that was discontinued some years ago. It is to be noted, however, that the proposed mechanical performance test seems to have an effect beyond the ordinary electromechanical or mechanical failing load test in the case of serious manufacturing faults only (see Appendix A).

This test has an initial stage of mechanical loading and unloading, and a concluding stage of testing the insulator units to failure. The concluding stage is identical to an ordinary electromechanical or mechanical failing load test to be carried out in accordance with IEC Publication 383. Such a failing load test also constitutes the basis for the mechanical performance test in judging the test results.

During the initial stage of the test, the insulator units shall be subjected to a tensile load equal to 60% of the specified electromechanical or mechanical failing load (whichever is applicable, see IEC Publication 383). Unless otherwise agreed, the tensile load shall be applied and immediately removed four times in succession. On the same day, after loading and unloading, the insulator units shall be subjected individually to an electromechanical or mechanical failing load test in accordance with Clauses 26 or 27 of IEC Publication 383. Electromechanical or mechanical failing load according to Sub-clauses 3.14 or 3.15 of that publication shall be recorded.

The performance of the insulator units will be determined by a comparison of the failing load values and the fracture pattern obtained during the electromechanical or mechanical failing load test in accordance with IEC Publication 383 and the same test carried out as a final stage of the mechanical performance test defined here.

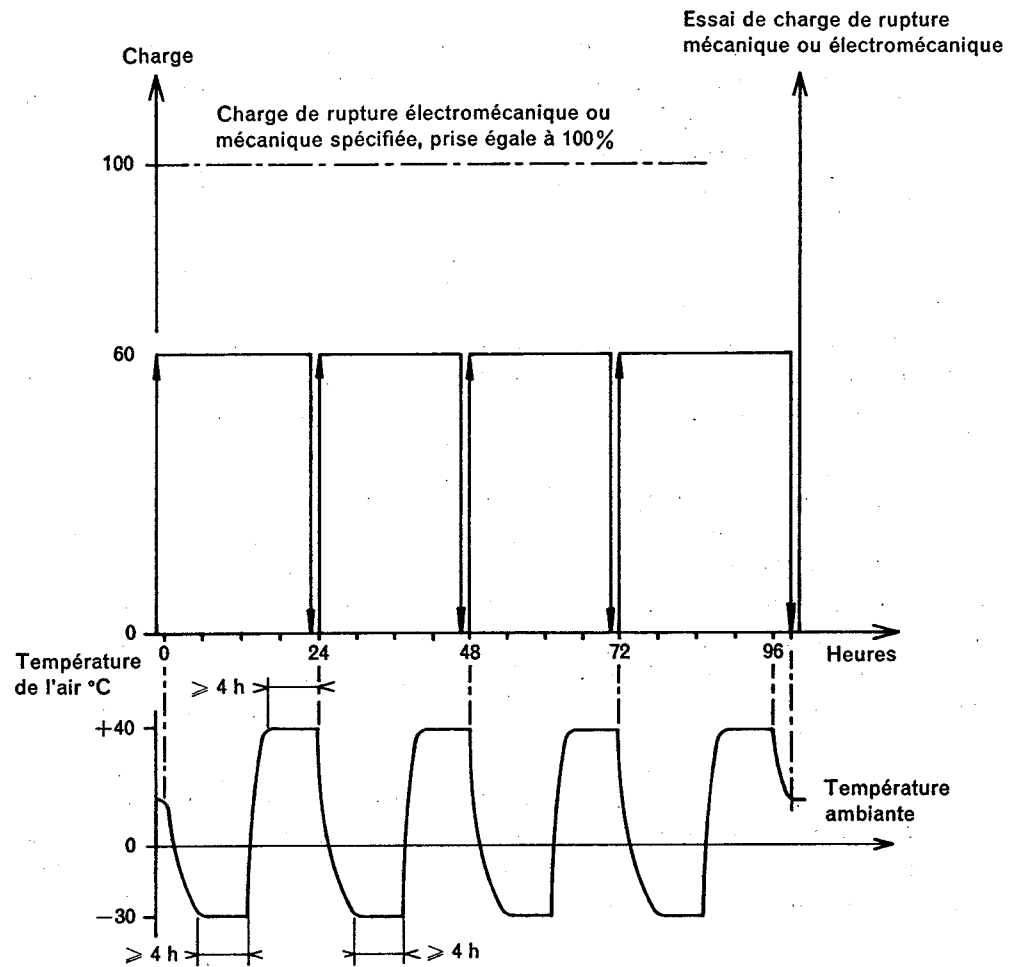
Notes 1. — The test may be more decisive if the 60% load is applied and removed more than four times in succession.

2. — The insulator units may be coupled together in series and/or in parallel when subjected to the 60% load. When parallel coupled, the insulator units must be equally loaded.

3. — The test may not give information on the internally stressed zone if failure occurs in a metal part such as the socket or clevis of a cap or an insulator pin. In such cases, this test is not suitable for a sample test, but by agreement it may be used as a design test or special qualification test. It is possible to investigate the fundamental insulator design by using metal parts suitably strengthened so that failure occurs in the internally stressed zone of the insulator.

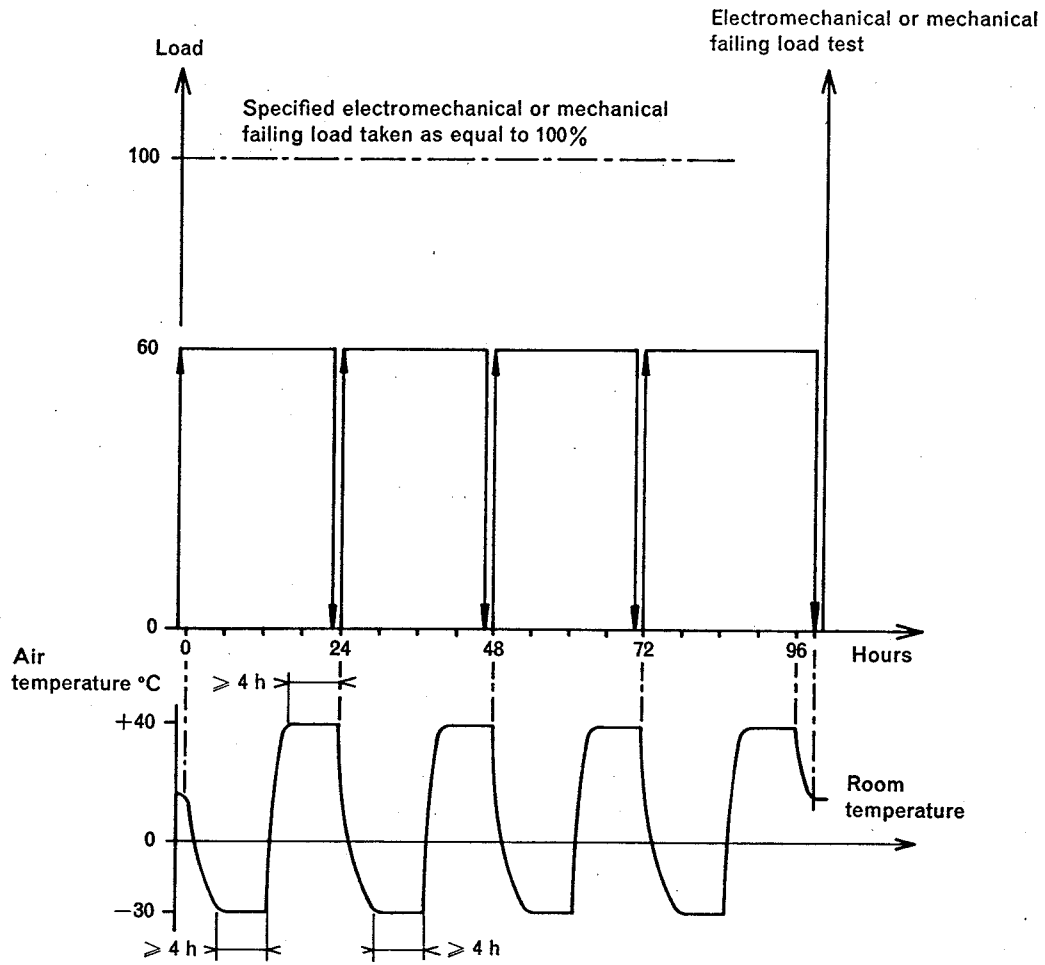
Precaution should be taken that strengthening the metal parts does not affect the fundamental stress relationship.

4. — Voltage may be applied to the insulator units (Type B only) whenever it is desired in the course of the test in order to detect mechanical failure of the insulating part (puncture).



278177

FIG. 1. — Représentation schématique de l'essai d'endurance thermomécanique.



278/77

FIG. 1. — Schematic representation of thermal-mechanical performance test.

ANNEXE A

A1. Justification

Il faut noter que, du point de vue mécanique, la Publication 383 de la CEI ne comprend aucun essai vérifiant le comportement d'un isolateur aux variations de charge et de température. A cause de l'absence d'un essai de ce genre, des éléments de chaînes d'isolateurs peuvent satisfaire aux essais de type, aux essais sur prélèvements et aux essais individuels recommandés par la CEI dans cette publication, mais, néanmoins, être incapables de supporter les variations de charge et de température qui se produisent en service.

Les circonstances mentionnées ci-dessus et le mauvais comportement de l'isolateur avec un taux important de défauts en service ont été les raisons de la mise en pratique de différents essais dans divers pays et du désir de voir se créer, sous une forme normalisée, un essai de longue durée ou d'endurance. Le présent rapport peut apparaître comme un compromis entre les essais pratiqués dans différents pays. Cependant, le compromis n'a pas été une fin en soi, comme on peut le voir à l'article A2.

A2. Mécanique de l'isolateur

Pour examiner les méthodes d'essais d'endurance, il est important de connaître la mécanique des isolateurs de chaînes. Par conséquent, un bref résumé sera donné sur ce sujet.

A2.1 *Isolateurs du type capot et tige*

La figure 2, donne le dessin de principe des éléments de chaînes d'isolateurs du type capot et tige. Dans un tel isolateur, il y a trois matériaux dissemblables qui sont combinés dans l'ordre métal-ciment-matériau isolant-ciment-métal.

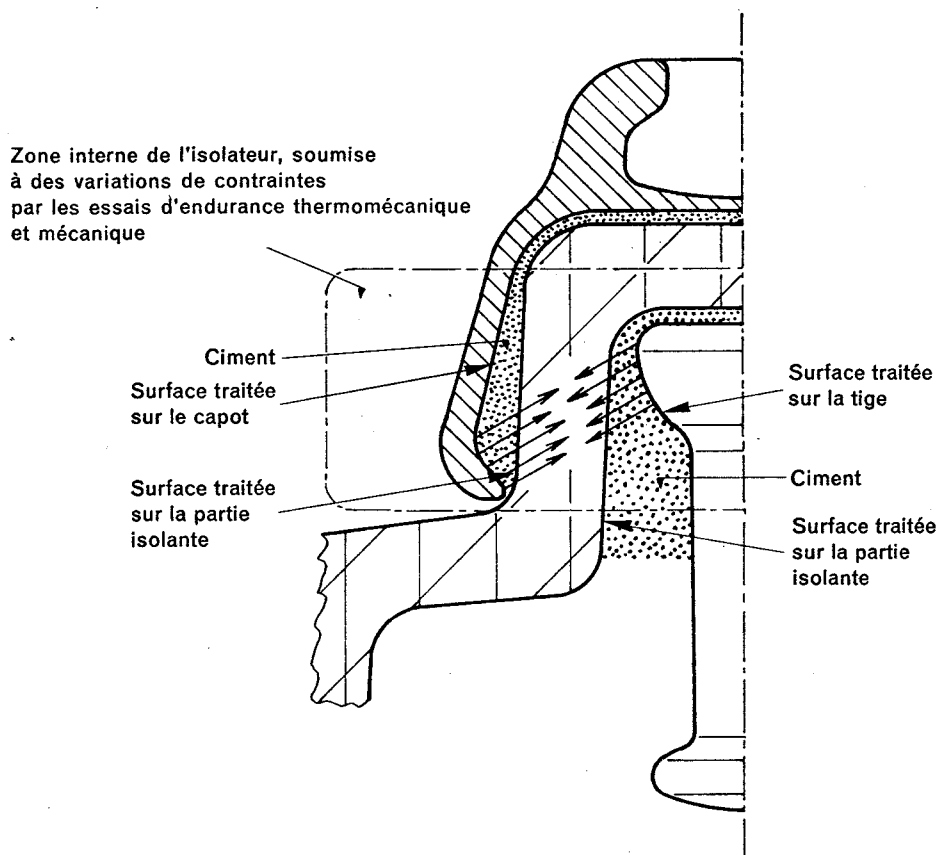


FIG. 2. — Coupe d'un isolateur de type capot et tige.

APPENDIX A

A1. Background

It is to be noted that from a mechanical point of view IEC Publication 383, does not include any test verifying the insulator behaviour when subject to load and temperature variations. Because of the lack of a test of this kind, string insulator units can satisfy all the type tests, sample tests and routine tests recommended by the IEC in that publication, but nevertheless be unable to withstand the load and temperature variations that occur in service.

The above-mentioned circumstances and poor insulator behaviour with significant fault rates in service have been the background to different test practice in various countries, and to the wishes expressed for a long-time test or performance test in a standardized form. The test clauses now proposed by this report appear as a compromise between different national test practices. However, this compromise has not been an end in itself, as can be seen from Clause A2.

A2. Insulator mechanics

In considering performance test methods, it is important to know the mechanics of string insulators. Therefore, a brief review will be given on the subject.

A2.1 *Cap and pin type insulators*

Figure 2 shows the design in principle of cap and pin type string insulator units. There are three dissimilar materials combined in such an insulator in the order of metal-cement-insulating material-cement-metal.

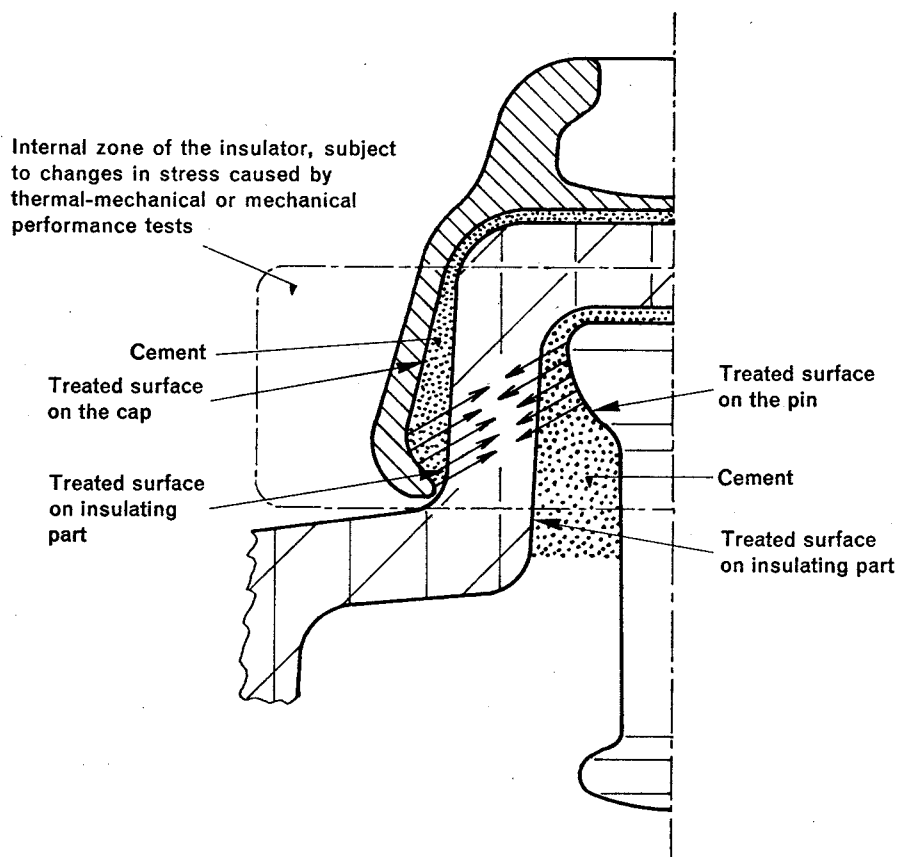


FIG. 2. — Cross-section of a cap and pin type insulator.

Les matériaux métalliques ont des coefficients de dilatation thermique plus grands ou beaucoup plus grands que ceux du ciment ou des matériaux isolants, par exemple le verre ou la porcelaine. Pour éviter de grandes contraintes dues aux dilatations thermiques, les parties métalliques et la partie isolante doivent être mobiles les unes par rapport aux autres. Ainsi, le capot devrait se comporter de façon élastique sous un effort de traction externe et devrait pouvoir monter et descendre sur la surface inclinée du ciment qui est à son contact. La tige devrait se comporter de la même manière.

Normalement la partie active de la tête de la pièce isolante est soumise à des efforts de compression presque purs, engendrés par la géométrie du capot et de la tige, et transmis par le ciment. Sous compression, la porcelaine et le verre sont des matériaux extrêmement robustes, mais leur tenue à la traction ou au cisaillement n'est pas particulièrement grande.

Un angle α anormalement faible du capot (voir la figure 3) peut conduire à un capot qui se comporte comme un coin à des contraintes résiduelles indésirables quand la charge diminue. Les contraintes résiduelles peuvent augmenter en s'accumulant avec le temps. D'autre part, un grand angle α du capot favorise le retour du capot en position initiale, mais peut produire des efforts de cisaillement de valeurs trop importantes. En principe, le même raisonnement est applicable à la tige. L'angle du capot et celui de la surface correspondante de la tige ont, de cette façon, une grande importance sur la capacité d'endurance d'un élément.

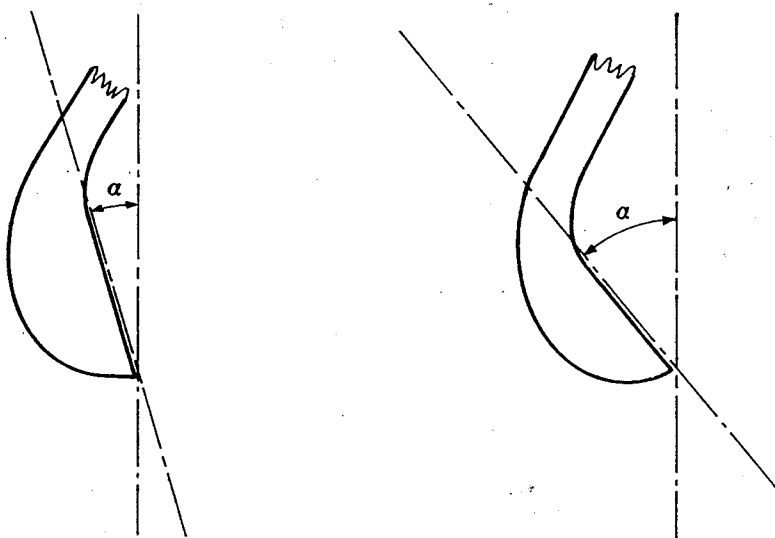


FIG. 3. — Angle du capot.

280/77

Dans le cas d'un capot qui se comporte comme un coin, une baisse de température provoque une pression plus forte sur la tête de la partie isolante, et cette pression s'ajoute aux contraintes indésirables déjà provoquées par l'effort de coin. La relation inverse se produit dans le cas d'une tige qui se comporte comme un coin, c'est-à-dire, que la tige se dilate et provoque des contraintes supplémentaires lorsque la température augmente.

A2.2 Isolateurs du type fût long

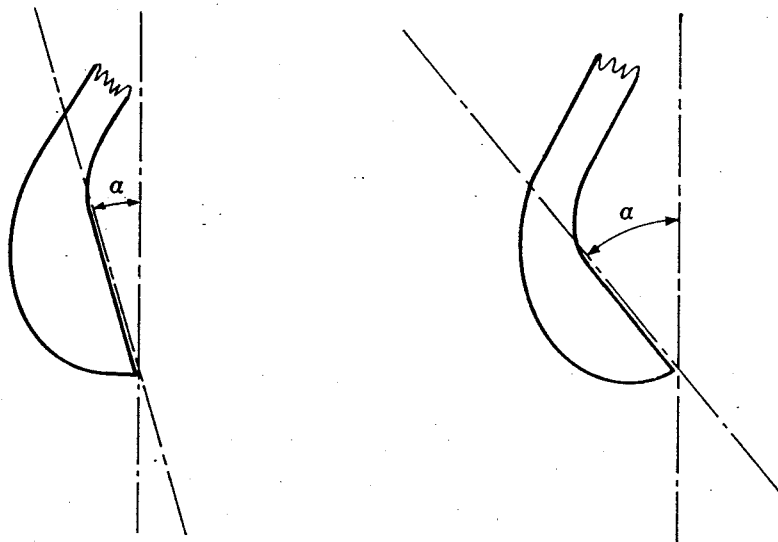
La figure 4, page 18, montre le dessin de principe, vu en coupe, d'un isolateur fût long. Il n'y a qu'une seule série de matériaux: matériau isolant-ciment-métal.

Les matériaux métalliques ont des coefficients de dilatation thermique plus grands que la plupart des ciments utilisés ou que le matériau isolant, par exemple la porcelaine. On doit en tenir compte dans le dessin de l'isolateur afin d'éviter que des contraintes indésirables n'apparaissent sous l'effet de variations de température sous charge.

The metallic materials have greater or much greater coefficients of thermal expansion than cement and the insulating materials, for example glass and porcelain. In order to avoid large thermal stresses, the metal parts and the insulating part have to be movable in relation to each other. Thus, the cap should act in an elastic manner under the external tension load, and should move up and down on the sloping surface of the adjacent cement. The pin should act in the same manner.

In normal cases the intervening head section of the insulating part is subjected to nearly pure compression, developed by the geometry of the cap and the pin and transferred by the cement. Under compression, porcelain and glass are very strong materials, but in tensile or shear stressing, they are not particularly strong.

An abnormally small cap angle α (see Figure 3) may result in a wedging and straining of the cap, thus leaving undesirable residual stresses when the load decreases. The residual stresses may increase cumulatively in the course of time. On the other hand, a large cap angle α favours the recovery movement, but may produce excessive shear stresses. In principle, a similar argument is applicable to the pin. Thus the cap plane angle and the counteracting surface of the pin are of great importance to the endurance capability of an insulator unit.



280/77

FIG. 3. — Angle of cap.

In the case of a wedging and straining of the cap, a drop in temperature results in stronger pressure on the head section of the insulating part, and in additional stresses to those undesirable stresses already present due to wedging. The inverse relation arises in the case of a wedged pin, i.e. the pin expands and causes additional stresses when the temperature increases.

A2.2 Long rod type insulators

Figure 4, page 19, shows in principle the internal design of a long rod insulator. There is only one sequence of materials: insulating material-cement-metal.

The metallic materials have greater coefficients of thermal expansion than most of the cements used or the insulating material, for example porcelain. This has to be taken into account in the design in order to avoid undesirable stresses arising from temperature changes when the insulator is under load.

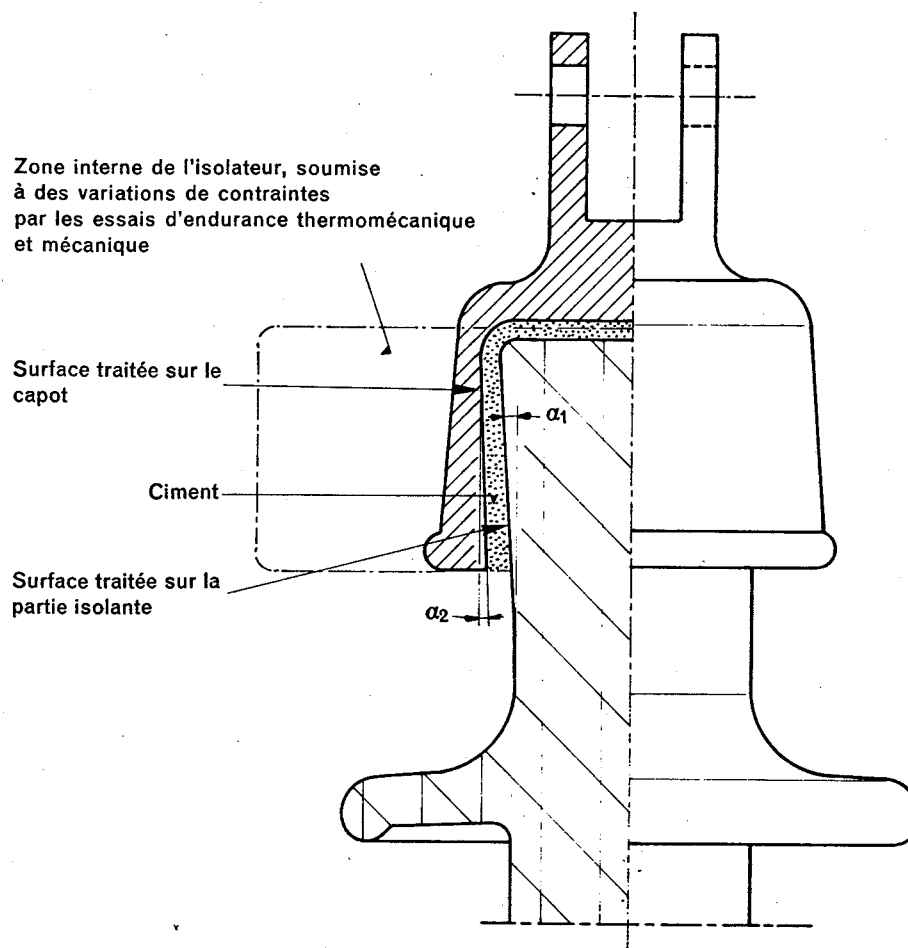


FIG. 4. — Coupe d'un isolateur de type fût long.

Le choix correct des angles du capot et de l'extrémité conique de la partie isolante (α_1 et α_2 de la figure 4) est très important. Ces angles sont compris entre 4° et 12° , normalement 8° . Pour de tels angles, le capot ne revient pas à sa position de départ après l'essai mécanique individuel (généralement 80% de l'effort minimal de rupture), mais reste serré sur l'extrémité conique de la partie isolante. Les dilatations thermiques, dues aux changements de température, et les variations de charge en service ne provoquent plus ultérieurement de mouvement de la partie isolante dans le capot. En service, les contraintes dans le capot restent en dessous de la limite élastique.

Des angles extrêmement petits peuvent provoquer des contraintes excessivement élevées dans le matériau isolant. Une baisse de température augmente la pression sur l'extrémité conique de la partie isolante, s'ajoutant aux contraintes existantes, provoquées pendant l'essai individuel par le glissement initial du capot. Dans ces conditions, les contraintes dans le capot ne doivent pas dépasser la limite d'élasticité.

D'un autre côté, de grands angles peuvent provoquer des contraintes de cisaillement excessives dans la partie isolante.

A2.3 Procédure d'essais

Dans les deux cas, paragraphes A2.1 et A2.2, afin de vérifier qu'un isolateur a un comportement satisfaisant aux variations de température et de charge qui se produisent en service, c'est-à-dire de constater si la partie isolante et les parties mécaniques sont assemblées et coopèrent de façon satis-

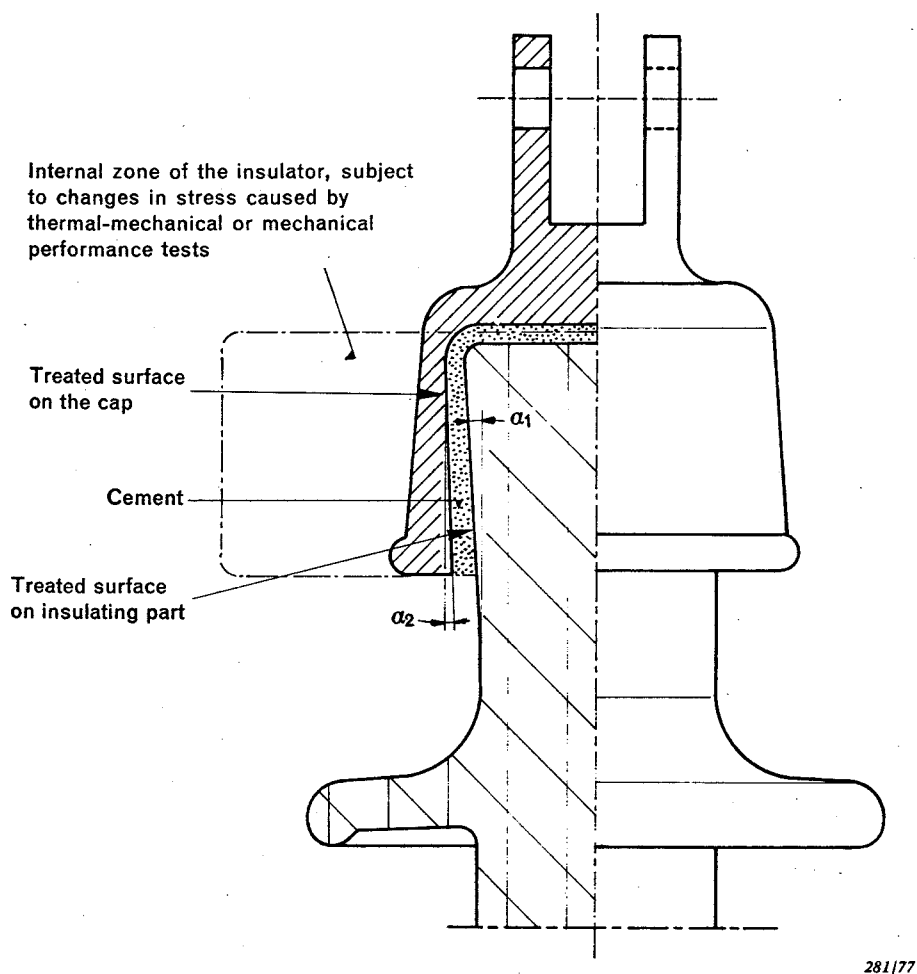


FIG. 4. — Cross-section of a long rod type insulator.

The right choice of the angles of the cap and the cone and of the insulating part (α_1 and α_2 in Figure 4) is very important. These angles are in the range of 4° - 12° , normally 8° . For such angles, the cap does not move back into its initial position after the routine mechanical test (usually 80% of the minimum failing load), but remains tightened on to the cone end of the insulating material. The thermal expansions due to temperature changes and the load variations in operation do not cause any further movement of the insulating part in the cap. In operation, the stresses in the cap remain within the elastic range.

Extremely small angles can result in unduly high stresses in the insulating material. A fall in temperature increases the pressure on the cone end of the insulating part, adding to the stresses already present due to the initial movement during the routine test. Under these conditions, the stresses in the cap must not exceed the limit of elasticity.

On the other hand, large angles may cause excessive shear forces in the insulating part.

A2.3 Test procedure

In both cases, Sub-clauses A2.1 and A2.2, in order to verify that an insulator behaves satisfactorily under the load variations and the temperature variations that take place in service, i.e. to find out whether or not the insulating part and the metal parts are assembled and co-operate in a satisfactory

faisante ou non, un essai de type d'endurance devrait comprendre des charges et décharges mécaniques combinées avec des changements de température. L'essai d'endurance devrait se terminer par l'essai de rupture des éléments d'isolateur, exécuté comme l'essai de rupture électromécanique ou mécanique décrit aux articles 26 ou 27 de la Publication 383 de la CEI.

En procédant ainsi, il sera prouvé dans cette phase finale de l'essai si les éléments d'isolateur ne sont pas affectés en ce qui concerne leur charge de rupture ou si les charges et décharges précédentes combinées avec des variations de température ont diminué de façon significative la charge de rupture par rapport aux résultats de l'essai de rupture ordinaire (voir la note ci-dessous). Ce point est essentiel pour juger des résultats de l'essai d'endurance. La diversité des résultats d'essai et le type de rupture peuvent constituer un critère supplémentaire de jugement. En somme, le résultat d'un tel essai d'endurance doit s'harmoniser pleinement avec le résultat de l'essai de rupture électromécanique ou mécanique ordinaire (voir l'article A6).

Note. — Voir la note 2 de l'article 3, qui fournit des renseignements dans le cas où la rupture des parties métalliques fait en sorte qu'il est impossible de détecter les modifications de comportement à l'intérieur de l'isolateur.

A3. Notes sur l'essai d'endurance thermomécanique

Afin de ne pas dépasser les contraintes de limite élastique de certains matériaux du capot et de la tige dans les cas normaux, c'est-à-dire quand les éléments d'isolateur se comportent convenablement, la charge d'essai à appliquer pendant les quatre cycles de 24 h de refroidissement et de réchauffage a été limitée à 60% de la charge de rupture électromécanique et mécanique.

En ce qui concerne le cycle de température, on doit noter que le cycle de refroidissement et de réchauffage pendant chaque période de 24 h a été choisi pour des raisons pratiques. Le refroidissement peut, pour cette même raison, être effectué manuellement pendant la journée, si nécessaire.

On devra aussi noter que la limitation de l'essai à quatre cycles de 24 h, plus le cinquième jour pour conclure l'essai, a été également faite pour des raisons pratiques. Ainsi, l'essai sera terminé intégralement après une semaine de travail normale. On voit, à partir des résultats d'essai ci-après, qu'il n'est pas nécessaire de prolonger la durée de l'essai.

A4. Notes sur l'essai d'endurance mécanique

En plus de l'essai d'endurance thermomécanique considéré comme essai de type, un essai plus simple a été demandé en tant qu'essai sur prélèvement pour remplacer l'essai mécanique de 24 h qui a été supprimé quelques années auparavant. Donc, comme essai d'endurance simplifié, on a ajouté l'essai d'endurance mécanique comprenant la même séquence de charge mécanique que dans l'essai d'endurance thermomécanique, mais en supprimant la durée de maintien de la charge par période de 24 h et les variations de température.

Un tel essai sur prélèvement peut être considéré comme plus valable que l'essai mécanique de 24 h supprimé. Cependant, il est évident que l'essai d'endurance mécanique est beaucoup moins concluant que l'essai d'endurance thermomécanique (voir l'article A5).

A5. Examen des résultats d'essai

Afin de suivre de près les critères établis pour l'essai d'endurance, 21 types particuliers ou variantes d'éléments de chaînes d'isolateurs du type capot et tige et 9 types particuliers ou variantes d'éléments de chaînes d'isolateurs du type fût long ont été soumis aux essais. Les éléments essayés provenaient d'au moins 16 fabricants et de 11 pays, à savoir:

way, a performance type test should comprise mechanical loading and unloading together with temperature changes. The performance test should be concluded by testing the insulator units to failure in the same way as in the ordinary electromechanical or mechanical failing load test according to Clauses 26 or 27 of IEC Publication 383.

In doing so, it will be proved in this concluding stage of the test whether the insulator units are unaffected in respect of the failing load or whether the preceding loading and unloading together with the temperature changes have significantly lowered the failing load as compared with the results of the ordinary failing load test (see note below). This shall be the main point in judging the performance test results. Additional judgement criteria may be the dispersion in the test results and the fracture pattern. On the whole, the outcome of such a performance test shall fully match the outcome of the ordinary electro-mechanical or mechanical failing load test (see Clause A6).

Note. — See Note 2 in Clause 3, which gives information concerning cases in which failure of the metal parts makes it impossible to detect changes in the internal behaviour of an insulator.

A3. Notes on the thermal-mechanical performance test

In order not to exceed the yield point stresses of some cap and pin materials in normal cases, i.e. when the insulator units behave properly, the test load to be applied during the four 24-hour cycles of cooling and heating has been limited to 60% of the specified electromechanical or mechanical failing load.

As regards the temperature cycle, it is to be noted that the cycle of cooling and heating during each 24-hour period has been chosen for practical reasons. For this reason, cooling can be carried out manually in the daytime if necessary.

It should also be noted that the limitation of the test to four 24-hour cycles, plus the fifth day for concluding the test, has been laid down for practical reason as well. Thus, the whole test will be completed in a normal working week. It is seen from the following test results that there is no need to extend the testing time.

A4. Notes on the mechanical performance test

In addition to the thermal-mechanical performance test intended as a type test, a simpler test has been requested as a sample test to replace the 24-hour mechanical test that was discontinued some years ago. Therefore, as a simplified performance test there has been added the mechanical performance test comprising the same mechanical load sequence as in the thermal-mechanical performance test, but without holding the load for the 24 h periods and without the temperature changes.

Such a sample test may be considered more valuable than the suppressed 24-hour mechanical test. It is obvious, however, that the mechanical performance test is much less decisive than the thermal-mechanical performance test (see Clause A5).

A5. Survey of test results

In order to follow closely the performance test clauses, 21 individual types or variants of cap and pin type string insulator units and 9 individual types or variants of long rod type string insulator units have been subjected to the tests. The insulator units tested related to 16 or more manufacturers in 11 countries, namely:

— Allemagne, Chine, Danemark, Etats-Unis d'Amérique, France, Hongrie, Italie, Japon, Royaume-Uni, Suède, Tchécoslovaquie.

Les essais ont été effectués en France, en Italie, au Japon, au Royaume-Uni, en Suède et en Tchécoslovaquie.

Les tableaux I et II contiennent les années de fabrication, les valeurs de charge nominale (charges de rupture spécifiées) et d'autres détails sur les éléments d'isolateur soumis aux essais.

En ce qui concerne les désignations codées utilisées, on notera que les éléments d'isolateur du type capot et tige ont été repérés par CP et des numéros particuliers de 1 à 21. De même, les éléments d'isolateur du type fût long ont été repérés par LR et des numéros particuliers de 1 à 9.

Dans chaque essai, c'est-à-dire l'essai d'endurance thermomécanique, l'essai d'endurance mécanique et l'essai de rupture électromécanique ou mécanique ordinaire, respectivement, des effectifs d'échantillons de 9 à 14 ont été utilisés. Les tableaux III à VI présentent des résumés des valeurs des charges de rupture obtenues et des notes sur le genre de rupture. Dans ces résumés les charges de rupture sont exprimées au prorata de la charge de rupture électromécanique ou mécanique spécifiée. Les valeurs statistiques utilisées sont la moyenne arithmétique

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_n}{n}$$

et la dispersion des résultats d'essai, exprimée par l'écart type

$$s = \sqrt{\frac{\sum R^2 - \frac{(\sum R)^2}{n}}{n - 1}}$$

conformément aux règles de prélèvement d'échantillons et d'acceptation d'une fourniture (rapport de la CEI, Publication 591). Afin d'accentuer l'image visuelle des résultats d'essai, les tableaux III à VI donnent une information graphique sur l'écart type et les valeurs inférieures à celle du niveau spécifié.

En ce qui concerne les notes des résumés sur les genres de rupture, on doit faire remarquer que le terme « ruptures des parties isolantes » a été utilisé pour les éléments de chaînes d'isolateurs du type capot et tige comme terme général désignant les perforations ou les ruptures complètes des parties isolantes dans le cas de la porcelaine, et la rupture en petits fragments des parties isolantes dans le cas du verre trempé.

Parmi les éléments de chaînes d'isolateurs du type capot et tige compris dans cette étude, les types CP 1 à CP 5 inclus peuvent être classés comme étant relativement vieux et de conception plus ou moins ancienne. Ils ont été fabriqués vers la fin de la décennie 1930-1940, de 1940 à 1950, et au cours des premières années de la décennie 1950-1960. Leur comportement en service n'a pas été satisfaisant. Pour les types CP 1, CP 2, CP 3 et CP 4, les données statistiques basées sur les visites annuelles des isolateurs sur les lignes de transport concernaient la période comprise entre la fin de la décennie 1940-1950 et maintenant. Ces données statistiques faisaient apparaître des taux de défauts variables au cours des années et des valeurs maximales de taux atteignant 132 éléments CP 1 défectueux, 21 éléments CP 2 défectueux, 41 éléments CP 3 défectueux et 139 éléments CP 4 défectueux par 10 000 éléments de chaque, et par année. Pour le type CP 5 un taux de défauts de 2,2 éléments par 10 000 et par année a été établi. On voit, au tableau III, que cette valeur de taux de défauts correspond très bien aux résultats d'essai pour autant que les éléments d'isolateur de ces cinq types n'ont pas donné non plus de bons résultats aux essais.

Pour les éléments d'isolateur du type CP 6, un taux approximatif de défauts en service inférieur à 1 pour 10 000 éléments par an a été établi. Que ce soit un effet du hasard ou non, on doit noter que, suivant les essais, les ruptures diffèrent, puisque 2 éléments sur 12 ont été perforés lors de l'essai de rupture électromécanique ordinaire, mais que 5 éléments sur 12 l'ont été dans l'essai d'endurance mécanique et 7 éléments sur 12 lors de l'essai d'endurance thermomécanique.

— China, Czechoslovakia, Denmark, France, Germany, Hungary, Italy, Japan, Sweden, United Kingdom and the United States of America.

The tests were carried out in Czechoslovakia, France, Italy, Japan, Sweden and United Kingdom.

Tables I and II sum up manufacturing-years, rated load values (specified failing load) and other details about the insulator units tested.

As regards the code designations used, it is to be noted that the insulator units of the cap and pin type have been denoted by CP and individual type numbers from 1 to 21. Likewise the insulator units of the long rod type have been denoted by LR and individual type numbers from 1 to 9.

In each test, i.e. the thermal-mechanical performance test, the mechanical performance test and the ordinary electromechanical or mechanical failing load test, respectively, sample sizes of 9 to 14 units were used. Tables III to VI show summaries of the failing load values obtained and notes about the fracture patterns. The failing loads are, in these summaries, expressed in proportion to the rated electromechanical or mechanical failing load. The statistical terms used are the arithmetical mean value

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_n}{n}$$

and the dispersion in the test results, expressed by the standard deviation

$$s = \sqrt{\frac{\sum R^2 - \frac{(\sum R)^2}{n}}{n - 1}}$$

in accordance with the sampling rules and acceptance criteria (IEC Report, Publication 591). In order to have a clearer picture of the test results, Tables III to VI contain graphical information on standard deviation and the values below the specified rating.

As regards the notes in the summaries about the fracture patterns, it is to be observed that "failures of insulating parts" has been used as a general term in connection with the cap and pin type string insulator units to indicate punctures or ultimate fractures of the insulating parts in the case of porcelain, and granulation of the insulating parts in the case of toughened glass.

Among the cap and pin type string insulator units included in this survey, Types CP 1 to CP 5 inclusive may be classified as comparatively old and more or less obsolete. They were manufactured in the late 1930's, in the 1940's, and in the early 1950's. Their behaviour in service has not been satisfactory. As regards Types CP 1, CP 2, CP 3 and CP 4, statistical data relating to annual inspections of insulators on transmission lines were available from the late 1940's to the present time. These statistical data showed varying fault rates in the course of the years and top rate figures as high as 132 faulty CP 1 units, 21 faulty CP 2 units, 41 faulty CP 3 units and 139 faulty CP 4 units per 10 000 units each per year. For Type CP 5 a fault rate of 2.2 units per 10 000 units per year has been stated. It is seen from Table III that these fault rate figures correspond very well with the test results in so far as the insulator units of these five types have not been sound in the tests either.

For Type CP 6 insulator units, an approximative fault rate in service of less than 1 unit per 10 000 units per year has been stated. Whether by chance or not, it is to be noted that the fracture patterns in the tests differ in so far as 2 units out of 12 were punctured in the ordinary electromechanical failing load test, but 5 units out of 12 in the mechanical performance test and 7 units out of 12 in the thermal-mechanical performance test.

TABLEAU I

Renseignements sur les éléments de chaînes d'isolateurs du type capot et tige essayés

Type d'élément de chaîne d'isolateur (désignation en code)	Année(s) de fabrication	Charge de rupture électro-mécanique ou mécanique nominale (selon le cas)	Remarques
CP 1	1938, 1949 et 1950	7 500 kg	Eléments enlevés d'une ligne de transport 220 kV en 1971 à cause d'éléments électriquement défectueux dans les chaînes
CP 2	1940 et 1948	7 500 kg	Eléments gardés en magasin jusqu'aux essais en 1971
CP 3	1946, 1947 et 1950	6 800 kg (15 000 lb)	Eléments enlevés pour les essais du Groupe de travail 2 (GT 2) après 17 années de service sur une ligne de transport 70 kV
CP 4	1950	12 000 kg	Eléments enlevés d'une ligne de transport en 1968 ou 1969 D'autres informations n'ont pu être données
CP 5	1950 et 1951	9 000 kg	Eléments enlevés pour les essais du GT 2 après 17 années de service sur une ligne de transport 220 kV (CP 5A). En plus, les éléments gardés en magasin de 1951 à 1971 ont été essayés (CP 5B)
CP 6	1960	10 000 kg (100 kN)	Eléments enlevés pour les essais du GT 2 après 9 années de service sur une ligne de transport 400 kV
CP 7	1962	7 500 kg	Unités gardées en magasin jusqu'aux essais du GT 2 en 1971
CP 8	1964 et 1965	19 000 kg (42 000 lb)	Eléments enlevés pour les essais du GT 2 après 5 années de service
CP 9	1965	19 000 kg (42 000 lb)	Eléments enlevés pour les essais du GT 2 après 5 années de service
CP 10	1966	6 800 kg (15 000 lb)	Eléments venant d'usine ou du magasin pour les essais du GT 2
CP 11	1970	8 200 kg (18 000 lb)	Eléments venant d'usine ou du magasin pour les essais du GT 2
CP 12	1970	11 300 kg (25 000 lb)	Eléments venant d'usine ou du magasin pour les essais du GT 2

TABLE I

Particulars relating to the cap and pin type string insulator units tested

Type of string insulator unit (code designation)	Year(s) of manufacture	Rated electro-mechanical or mechanical failing load (as applicable)	Remarks
CP 1	1938, 1949 and 1950	7 500 kg	Units removed from 220 kV transmission line in 1971 because of electrically defective units in the strings
CP 2	1940 and 1948	7 500 kg	Units kept in store until tests in 1971
CP 3	1946, 1947 and 1950	6 800 kg (15 000 lb)	Units removed for Working Group 2 (WG 2) tests after 17 years in service on 70 kV transmission line
CP 4	1950	12 000 kg	Units removed from transmission line in 1968 or 1969 Further information not received
CP 5	1950 and 1951	9 000 kg	Units removed for WG 2 tests after 17 years in service on 220 kV transmission line (CP 5A). In addition, units kept in store from 1951 to 1971 were tested (CP 5B)
CP 6	1960	10 000 kg (100 kN)	Units removed for WG 2 tests after 9 years in service on 400 kV transmission line
CP 7	1962	7 500 kg	Units kept in store until WG 2 tests in 1971
CP 8	1964 and 1965	19 000 kg (42 000 lb)	Units removed for WG 2 tests after 5 years in service
CP 9	1965	19 000 kg (42 000 lb)	Units removed for WG 2 tests after 5 years in service
CP 10	1966	6 800 kg (15 000 lb)	Units supplied from factory or store for WG 2 tests
CP 11	1970	8 200 kg (18 000 lb)	Units supplied from factory or store for WG 2 tests
CP 12	1970	11 300 kg (25 000 lb)	Units supplied from factory or store for WG 2 tests

TABLEAU I (suite)

Type d'élément de chaîne d'isolateur (désignation en code)	Année(s) de fabrication	Charge de rupture électro- mécanique ou mécanique nominale (selon le cas)	Remarques
CP 13	1970	11 300 kg (25 000 lb)	Eléments achetés chez le fabricant pour les essais du GT 2
CP 14	1970	21 000 kg	Eléments pris au hasard dans un lot livré en 1970
CP 15	1971	7 000 kg	Eléments venant d'usine pour les essais de type
CP 16	1971	11 300 kg (25 000 lb)	Eléments venant d'usine pour les essais du GT 2
CP 17	1971	6 400 kg	Eléments venant d'usine pour les essais de type
CP 18	1971	12 000 kg	Eléments venant d'usine pour les essais du GT 2
CP 19	1971	12 000 kg	Eléments venant d'usine pour les essais du GT 2
CP 20	1970	8 000 kg	Eléments venant d'usine pour les essais du GT 2
CP 21	1952	8 000 kg	Eléments retirés de service après 15 ans pour les essais du GT 2

TABLE I (continued)

Type of string insulator unit (code designation)	Year(s) of manufacture	Rated electro-mechanical or mechanical failing load (as applicable)	Remarks
CP 13	1970	11 300 kg (25 000 lb)	Units purchased from the manufacturer for WG 2 tests
CP 14	1970	21 000 kg	Units taken at random from a batch delivered in 1970
CP 15	1971	7 000 kg	Units supplied from factory for type tests
CP 16	1971	11 300 kg (25 000 lb)	Units supplied from factory for WG 2 tests
CP 17	1971	6 400 kg	Units supplied from factory for type tests
CP 18	1971	12 000 kg	Units supplied from factory for WG 2 tests
CP 19	1971	12 000 kg	Units supplied from factory for WG 2 tests
CP 20	1970	8 000 kg	Units supplied from factory for WG 2 tests
CP 21	1952	8 000 kg	Units removed for WG 2 tests after 15 years in service

TABLEAU II

Renseignements sur les éléments de chaînes d'isolateurs du type fût long essayés

Type d'élément de chaîne d'isolateur (désignation en code)	Année(s) de fabrication	Charge de rupture mécanique nominale	Remarques
LR 1	1970	10 000 kg	Eléments venant d'usine pour les essais du Groupe de travail 2 (GT 2) Charge pour l'essai individuel 8 000 kg
LR 2	1970 et 1971	10 000 kg	Eléments venant d'usine pour les essais du GT 2 Charge pour l'essai individuel 8 000 kg
LR 3	1970	15 000 kg	Eléments venant d'usine pour les essais du GT 2 Charge pour l'essai individuel 12 000 kg
LR 4	1970	15 000 kg	Eléments venant d'usine pour les essais du GT 2 Charge pour l'essai individuel 12 000 kg
LR 5	1970	15 000 kg	Eléments venant d'usine pour les essais du GT 2 Charge pour l'essai individuel 12 000 kg
LR 6	1970 et 1971	15 000 kg	Eléments venant d'usine pour les essais du GT 2 Charge pour l'essai individuel 12 000 kg
LR 7	1971	13 000 kg	Eléments achetés au fabricant pour les essais du GT 2 Charge pour l'essai individuel 13 000 kg
LR 8	1971	10 000 kg	Eléments venant d'usine pour les essais du GT 2 Charge pour l'essai individuel 4 000 kg
LR 9	1971	16 500 kg	Eléments venant d'usine pour les essais du GT 2 Charge pour l'essai individuel 6 600 kg

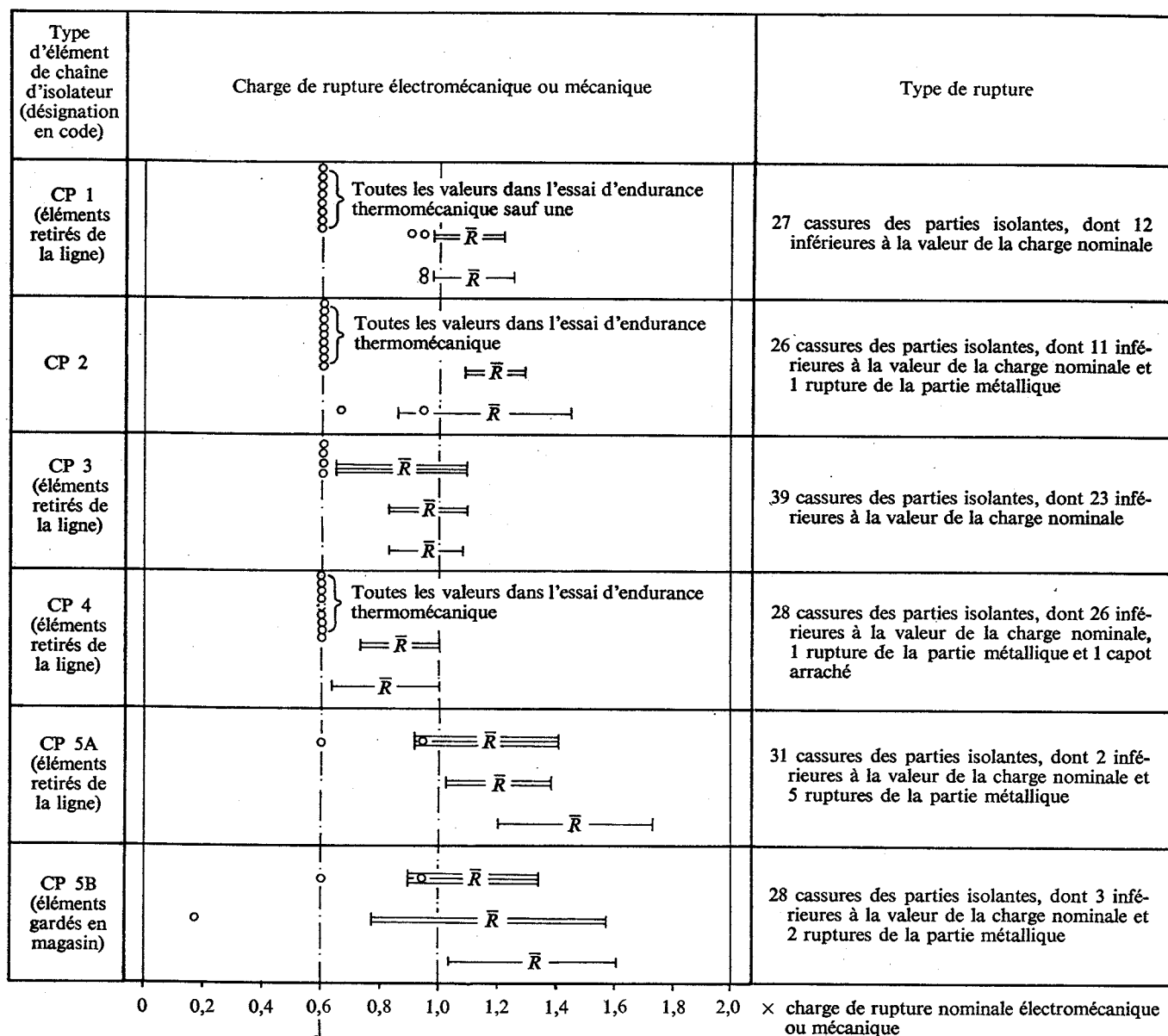
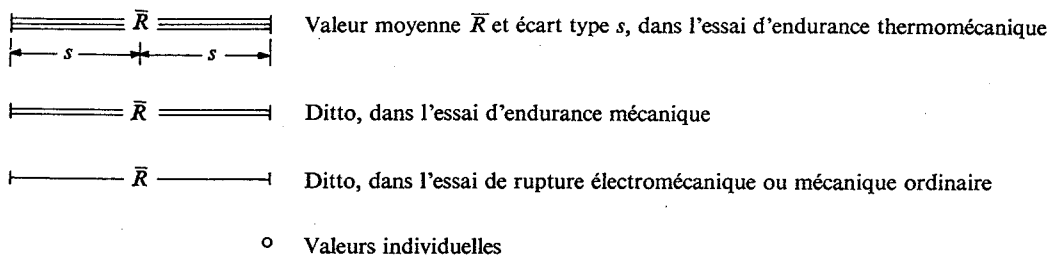
TABLE II

Particulars relating to the long rod type string insulator units tested

Type of string insulator unit (code designation)	Year(s) of manufacture	Rated mechanical failing load	Remarks
LR 1	1970	10 000 kg	Units supplied from factory for Working Group 2 (WG 2) tests Routine test load 8 000 kg
LR 2	1970 and 1971	10 000 kg	Units supplied from factory for WG 2 tests Routine test load 8 000 kg
LR 3	1970	15 000 kg	Units supplied from factory for WG 2 tests Routine test load 12 000 kg
LR 4	1970	15 000 kg	Units supplied from factory for WG 2 tests Routine test load 12 000 kg
LR 5	1970	15 000 kg	Units supplied from factory for WG 2 tests Routine test load 12 000 kg
LR 6	1970 and 1971	15 000 kg	Units supplied from factory for WG 2 tests Routine test load 12 000 kg
LR 7	1971	13 000 kg	Units purchased from the manufacturer for WG 2 tests Routine test load 13 000 kg
LR 8	1971	10 000 kg	Units supplied from factory for WG 2 tests Routine test load 4 000 kg
LR 9	1971	16 500 kg	Units supplied from factory for WG 2 tests Routine test load 6 600 kg

TABLEAU III

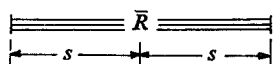
Résumé des résultats d'essai pour les éléments de chaînes d'isolateurs CP 1 à CP 5 du type capot et tige

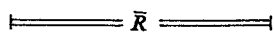


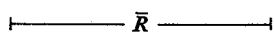
Charge pendant la phase initiale de l'essai d'endurance thermomécanique et pendant la phase initiale de l'essai d'endurance mécanique (les cercles (○) sur ce niveau à 60 % de charge font référence également aux ruptures qui peuvent avoir eu lieu pendant les augmentations de charge à cette valeur).

TABLE III

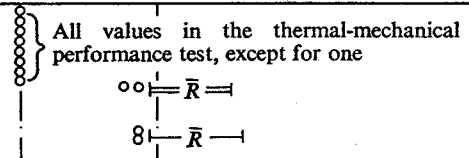
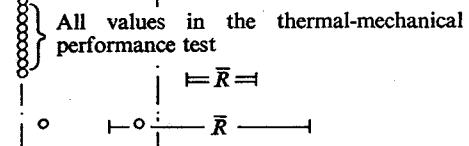
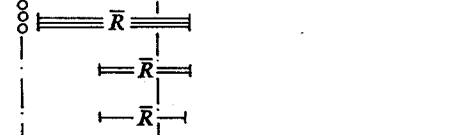
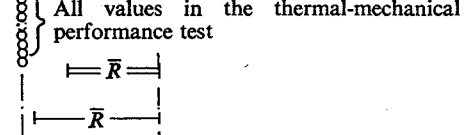
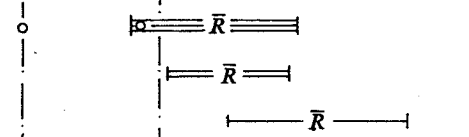
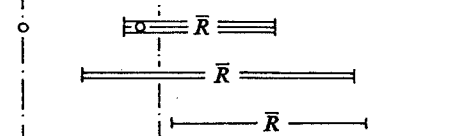
Summary of test results for cap and pin type string insulator units CP 1 to CP 5

 Mean value $\bar{R}$ and standard deviation s , in the thermal-mechanical performance test

 Ditto, in the mechanical performance test

 Ditto, in the ordinary mechanical failing load test

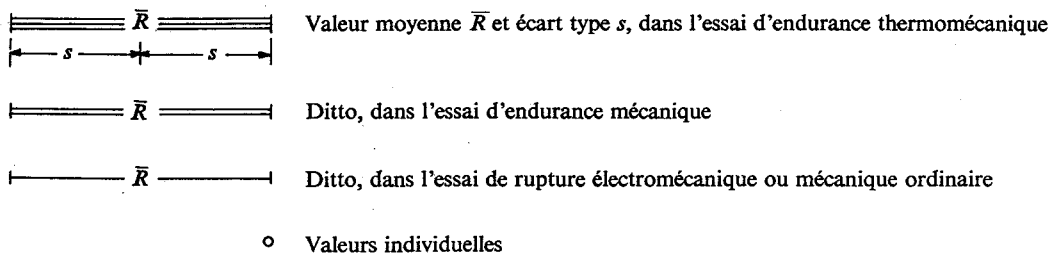
○ Individual values

Type of string insulator unit (code designation)	Electromechanical or mechanical failing load	Fracture pattern
CP 1 (units removed from line)		27 failures of insulating parts, 12 of them below rated load value
CP 2		26 failures of insulating parts, 11 of them below rated load value and 1 fracture of metal part
CP 3 (units removed from line)		39 failures of insulating parts, 23 of them below rated load value
CP 4 (units removed from line)		28 failures of insulating parts, 26 of them below rated load value, 1 fracture of metal part and 1 cap pulled off
CP 5A (units removed from line)		31 failures of insulating parts, 2 of them below rated load value and 5 fractures of metal parts
CP 5B (units kept in store)		28 failures of insulating parts, 3 of them below rated load value and 2 fractures of metal parts

Load during the initial stage of the thermal-mechanical performance test and during the initial stage of the mechanical performance test (circles (○) on this 60% load level have reference also to failures that may have occurred during the load increments to that value).

TABLEAU IV

Résumé des résultats d'essai pour les éléments de chaînes d'isolateurs CP 6 à CP 13 du type capot et tige



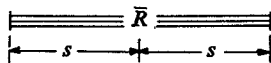
Type d'élément de chaîne d'isolateur (désignation en code)	Charge de rupture électromécanique ou mécanique			Type de rupture
CP 6 (éléments retirés de la ligne)				14 cassures des parties isolantes, dont 1 inférieure à la valeur de la charge nominale, 21 ruptures de la partie métallique et 1 tige arrachée
CP 7				15 cassures des parties isolantes et 9 ruptures des parties métalliques
CP 8 (éléments retirés de la ligne)				2 cassures des parties isolantes, 27 ruptures des parties métalliques et 7 capots arrachés
CP 9 (éléments retirés de la ligne)	(Elément remplacé)			13 cassures des parties isolantes, dont 1 inférieure à la valeur de la charge nominale, 15 ruptures de la partie métallique et 8 capots arrachés (élément de remplacement non compris)
CP 10				22 cassures des parties isolantes, dont 2 inférieures à la valeur de la charge nominale
CP 11				Rupture des parties métalliques seulement
CP 12				Rupture des parties métalliques seulement
CP 13				36 cassures des parties isolantes, dont 17 inférieures à la valeur de la charge nominale

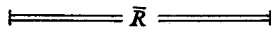
0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0 1,2 1,4 1,6 1,8 2,0 × charge de rupture nominale électromécanique ou mécanique

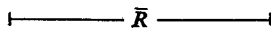
Charge pendant la phase initiale de l'essai d'endurance thermomécanique et pendant la phase initiale de l'essai d'endurance mécanique (les cercles (○) sur ce niveau à 60 % de charge font référence également aux ruptures qui peuvent avoir eu lieu pendant les augmentations de charge à cette valeur).

TABLE IV

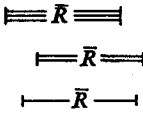
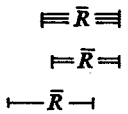
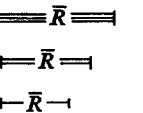
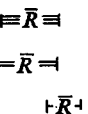
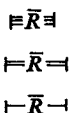
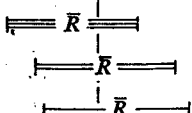
Summary of test results for cap and pin type string insulator units CP 6 to CP 13

 Mean value $\bar{R}$ and standard deviation s , in the thermal-mechanical performance test

 Ditto, in the mechanical performance test

 Ditto, in the ordinary electromechanical or mechanical failing load test

○ Individual values

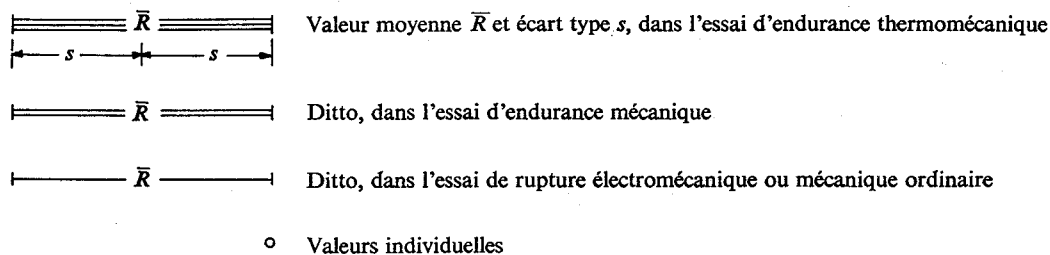
Type of string insulator unit (code designation)	Electromechanical or mechanical failing load			Fracture pattern
CP 6 (units removed from line)				14 failures of insulating parts, 1 of them below rated load value, 21 fractures of metal parts and 1 ball pulled out.
CP 7				15 failures of insulating parts and 9 fractures of metal parts
CP 8 (units removed from line)				2 failures of insulating parts, 27 fractures of metal parts and 7 caps pulled off
CP 9 (units removed from line)		(Replaced unit)		13 failures of insulating parts, 1 of them below rated load value, 15 fractures of metal parts and 8 caps pulled off (replaced unit not included)
CP 10				22 failures of insulating parts, 2 of them below rated load value
CP 11				Fractures of metal parts only
CP 12				Fractures of metal parts only
CP 13				36 failures of insulating parts, 17 of them below rated load value

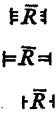
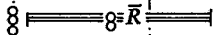
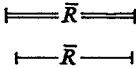
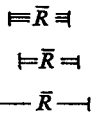
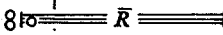
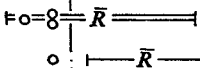
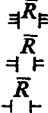
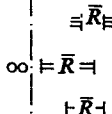
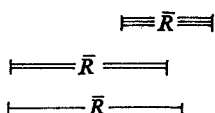
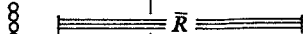
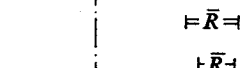
0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.4 1.6 1.8 2.0 × rated electromechanical or mechanical failing load

Load during the initial stage of the thermal-mechanical performance test and during the initial stage of the mechanical performance test (circles (○) on this 60% load level have reference also to failures that may have occurred during the load increments to that value).

TABEAU V

Résumé des résultats d'essai pour les éléments de chaînes d'isolateurs CP 14 à CP 21 du type capot et tige



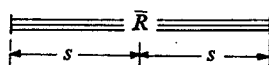
Type d'élément de chaîne d'isolateur (désignation en code)	Charge de rupture électromécanique ou mécanique			Type de rupture
CP 14				Rupture des parties métalliques seulement
CP 15				24 cassures des parties isolantes, dont 6 inférieures à la valeur de la charge nominale et 6 ruptures des parties métalliques
CP 16				18 cassures des parties isolantes, dont 1 inférieure à la valeur de la charge nominale et 12 ruptures des parties métalliques
CP 17				29 cassures des parties isolantes, dont 7 inférieures à la valeur de la charge nominale et 1 capot arraché en dessous de la valeur de charge nominale
CP 18				1 cassure de la partie isolante et 35 ruptures des parties métalliques
CP 19				5 cassures des parties isolantes, dont 2 inférieures à la valeur de la charge nominale et 31 ruptures des parties métalliques
CP 20				29 cassures des parties isolantes, dont 1 inférieure à la valeur de la charge nominale, 6 ruptures des parties métalliques et 1 tige arrachée
CP 21 (éléments retirés de la ligne)				26 cassures des parties isolantes, dont 1 inférieure à la valeur de la charge nominale, 2 ruptures des parties métalliques et 9 capots arrachés, 3 d'entre eux en dessous de la valeur de charge nominale

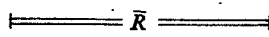
0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0 1,2 1,4 1,6 1,8 2,0 × charge de rupture nominale électromécanique ou mécanique

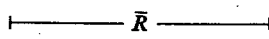
Charge pendant la phase initiale de l'essai d'endurance thermomécanique et pendant la phase initiale de l'essai d'endurance mécanique (les cercles (○) sur ce niveau à 60% de charge font référence également aux ruptures qui peuvent avoir eu lieu pendant les augmentations de charge à cette valeur).

TABLE V

Summary of test results for cap and pin type string insulator units CP 14 to CP 21

 Mean value $\bar{R}$ and standard deviation s , in the thermal-mechanical performance test

 Ditto, in the mechanical performance test

 Ditto, in the ordinary electromechanical or mechanical failing load test

○ Individual values

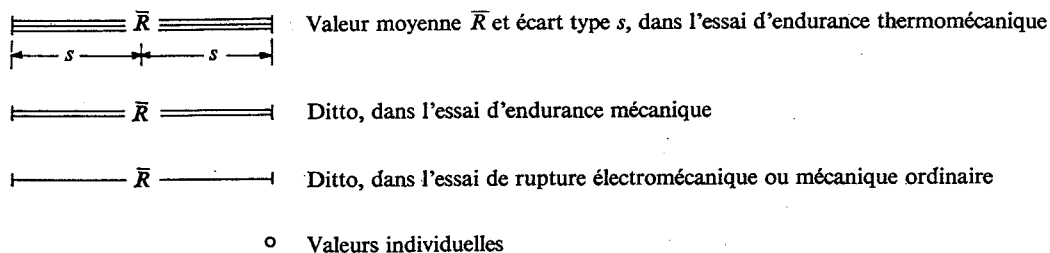
Type of string insulator unit (code designation)	Electromechanical or mechanical failing load			Fracture pattern
CP 14			  	Fractures of metal parts only
CP 15		  		24 failures of insulating parts, 6 of them below rated load value and 6 fractures of metal parts
CP 16			  	18 failures of insulating parts, 1 of them below rated load value and 12 fractures of metal parts
CP 17	○	  		29 failures of insulating parts, 7 of them below rated load value and 1 cap pulled off below rated load value
CP 18			  	1 failure of insulating part and 35 fractures of metal parts
CP 19		  		5 failures of insulating parts, 2 of them below rated load value and 31 fractures of metal parts
CP 20			  	29 failures of insulating parts, 1 of them below rated load value, 6 fractures of metal parts and 1 pin pulled out
CP 21 (units removed from line)	  			26 failures of insulating parts, 1 of them below rated load value, 2 fractures of metal parts and 9 caps pulled off, 3 of them below rated load value

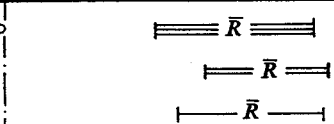
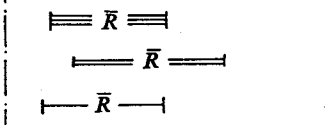
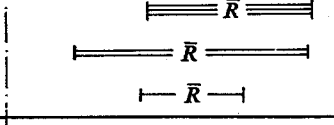
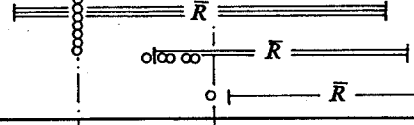
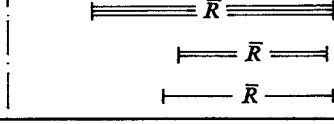
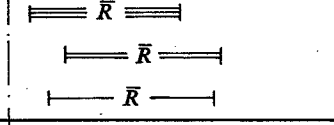
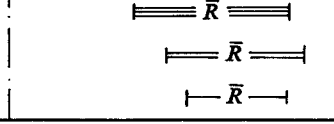
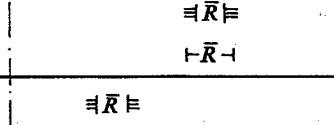
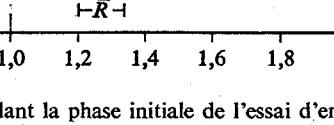
0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.4 1.6 1.8 2.0 × rated electromechanical or mechanical failing load

Load during the initial stage of the thermal-mechanical performance test and during the initial stage of the mechanical performance test (circles (○) on this 60% load level have reference also to failures that may have occurred during the load increments to that value).

TABLEAU VI

Résumé des résultats d'essai pour les éléments de chaînes d'isolateurs du type fût long



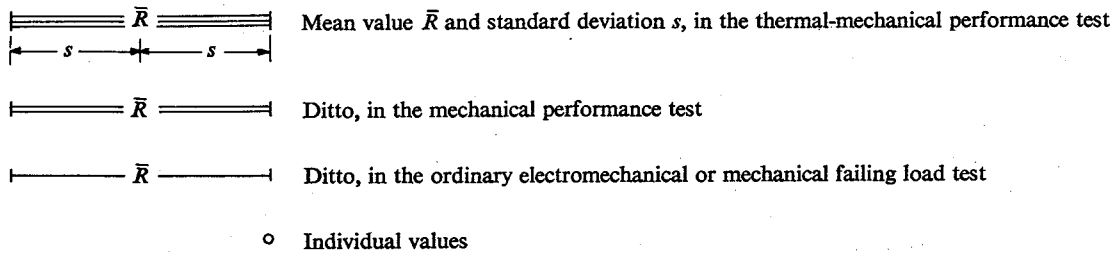
Type d'élément de chaîne d'isolateur (désignation en code)	Charge de rupture mécanique	Type de rupture
LR 1		36 ruptures des parties isolantes, dont 1 en dessous de la valeur de la charge nominale
LR 2		33 ruptures des parties isolantes et 3 capots arrachés
LR 3		35 ruptures des parties isolantes, dont 1 en dessous de la valeur de la charge nominale et 1 rupture de capot
LR 4		15 ruptures des parties isolantes et 21 ruptures de capot, dont 14 ruptures de capot en dessous de la valeur de charge nominale
LR 5		34 ruptures des parties isolantes, dont 1 en dessous de la valeur de la charge nominale et 2 ruptures de capot
LR 6		36 ruptures des parties isolantes, dont 2 en dessous de la valeur de la charge nominale
LR 7		36 ruptures des parties isolantes
LR 8		21 ruptures de capot et 3 capots arrachés
LR 9		24 capots arrachés

0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0 1,2 1,4 1,6 1,8 2,0 × charge de rupture nominale mécanique

Charge pendant la phase initiale de l'essai d'endurance thermomécanique et pendant la phase initiale de l'essai d'endurance mécanique (les cercles (o) sur ce niveau à 60% de charge font référence également aux ruptures qui peuvent avoir eu lieu pendant les augmentations de charge à cette valeur).

TABLE VI

Summary of test results for long rod type string insulator units



Type of string insulator unit (code designation)	Mechanical failing load	Fracture pattern
LR 1		36 fractures of insulating parts, 1 of them below rated load value
LR 2		33 fractures of insulating parts and 3 caps pulled off
LR 3		35 fractures of insulating parts, 1 of them below rated load value and 1 cap fracture
LR 4		15 fractures of insulating parts and 21 cap fractures, 14 of them below rated load value
LR 5		34 fractures of insulating parts, 1 of them below rated load value and 2 cap fractures
LR 6		36 fractures of insulating parts, 2 of the fractures below rated load value
LR 7		36 fractures of insulating parts
LR 8		21 cap fractures and 3 caps pulled off
LR 9		24 caps pulled off

Load during the initial stage of the thermal-mechanical performance test and during the initial stage of the mechanical performance test (circles (○) on this 60% load level have reference also to failures that may have occurred during the load increments to that value).

Les éléments d'isolateur du type CP 7 ont été utilisés sur des lignes de transport pendant dix années environ. Les éléments de ce type ont, jusqu'ici, été trouvés en bon état selon les statistiques des isolateurs en service.

Quant aux éléments d'isolateur des types CP 8, CP 11, CP 12 et CP 14, les résultats d'essai peuvent être considérés comme ayant donné une bonne corrélation avec les meilleures expériences en service. Par exemple, en Suède, aucun taux de défaut n'a été enregistré pour les éléments d'isolateur de ces fabrications utilisés depuis les années 50, lors des vérifications périodiques effectuées sur les lignes de transport. A de très rares occasions, quelques éléments isolés ont été trouvés électriquement défectueux. On peut aussi remarquer qu'en règle générale ces types d'isolateurs se caractérisent par des ruptures de parties métalliques et non par des ruptures de parties isolantes.

Pour les éléments d'isolateur du type CP 9 aucun chiffre de taux de défaut n'a été établi.

Les types CP 10 et CP 13 sont des éléments d'isolateur de même origine, mais essayés respectivement en France et en Suède. Dans ces deux pays, de mauvais résultats d'essai ont été obtenus. Les éléments CP 13 étaient normalement disponibles sur le marché en 1970. Les éléments CP 10 peuvent être rattachés aussi à l'époque actuelle, année de fabrication 1966.

Les éléments d'isolateur des types CP 15, CP 16, CP 17, CP 18, CP 19 et CP 20 ont été fournis pour les essais de 1970 à 1972. On voit, au tableau V, que les éléments CP 15 et CP 17 en particulier donnent de mauvais résultats d'essai.

Pour les éléments d'isolateur CP 21, année de fabrication 1952, quelques ruptures de chaînes, dues à l'arrachement des capots, ont été enregistrées en service. On peut observer que les éléments d'isolateur présentent de telles ruptures également dans les essais d'endurance.

En ce qui concerne les éléments de chaînes d'isolateurs du type fût long compris dans cette étude, on peut remarquer que les résultats d'essai se rapportent aux éléments d'isolateur seuls, c'est-à-dire que les haltères qui sont utilisés avec les éléments n'ont pas été utilisés pour les essais. La raison de la suppression des haltères est que de telles pièces ne font pas partie intégrante de l'isolateur. On attire tout spécialement l'attention sur les résultats d'essai se rapportant aux éléments de type LR 4 du point de vue de la ou des méthodes d'essai. Dans l'essai d'endurance thermomécanique, pas moins de huit ruptures de capots se sont produites sous l'action de la charge de 60% pendant la phase initiale de l'essai, c'est-à-dire à 9 000 kg, malgré la charge de l'essai individuel précédent de 12 000 kg. Dans l'essai d'endurance mécanique, cinq ruptures de capots ont été observées en dessous de la charge nominale de 15 000 kg. Ces ruptures de capots à de faibles charges ont été la conséquence d'une microstructure inacceptable du matériau du capot pour le lot essayé.

Dans les tableaux VII et VIII, pour résumer très brièvement le résultat de tous les essais, on a indiqué les nombres de défauts observés en dessous des valeurs de la charge nominale.

Type CP 7 insulator units have been used on transmission lines for only ten years or so. The units of this type have so far been sound in service according to insulator statistics.

As for Type CP 8, CP 11, CP 12 and CP 14 insulator units, the test results can be correlated with the best service experiences. For example, in Sweden, no fault rate at all has been recorded for insulator units of these makes used since the 1950's when regularly checked on the transmission lines. Only very occasionally have a few stray units been found electrically defective. It is also to be noted that the insulator types are characterized by fractures of the metal parts as a rule and not by failures of the insulating parts.

For Type CP 9 insulator units no fault rate figures have been stated.

Types CP 10 and CP 13 are insulator units from the same origin, but tested in France and Sweden, respectively. In both countries poor test results have been obtained. The CP 13 units were regularly available on the market in 1970. The CP 10 units may also be related to present times, year of manufacture 1966.

The insulator units of Types CP 15, CP 16, CP 17, CP 18, CP 19 and CP 20 were supplied for tests from 1970 to 1972. It is seen from Table V that especially the CP 15 units and the CP 17 units exhibited poor test results.

For Type CP 21 insulator units, year of manufacture 1952, a few fractures of strings due to caps pulling off have been recorded in service. It is to be observed that the insulator units exhibited such fractures in the performance tests also.

As regards the long rod type string insulator units included in this survey, it is to be noted that the test results refer to the insulator units alone, that is to say loose coupling pins to be used with the units have not been included in the tests. The reason for omitting loose coupling pins is that such pins do not form an integral part of the interior of an insulator design. Attention is specially drawn to the test results relating to Type LR 4 units from the viewpoint of the test method(s). In the thermal-mechanical performance test, not less than eight cap fractures occurred under the action of the 60% load during the initial stage of the test, i.e. at 9 000 kg in spite of the preceding routine test load of 12 000 kg. In the mechanical performance test, five cap fractures were observed below the rated load of 15 000 kg. These cap fractures at low loads were due to an unacceptable microstructure of the cap material of the tested batch.

In Tables VII and VIII, to sum up the outcome of all tests very briefly, the numbers of failures observed below rated load values are indicated.

TABEAU VII

*Nombre de ruptures observées en dessous des valeurs de charge nominale
pour les éléments de chaînes d'isolateurs du type capot et tige*

Type d'élément de chaîne d'isolateur (désignation en code)	Dans l'essai d'endurance thermomécanique	Dans l'essai d'endurance mécanique	Dans l'essai de rupture électromécanique ou mécanique ordinaire
CP 1 (éléments retirés de la ligne)	8	2	2
CP 2	9	Aucun	2
CP 3 (éléments retirés de la ligne)	8	7	8
CP 4 (éléments retirés de la ligne)	10	8	8
CP 5 (éléments retirés de la ligne)	2	Aucun	Aucun
CP 5 (éléments conservés en magasin de 1951 à 1971)	2	1	Aucun
CP 6 (éléments retirés de la ligne)	Aucun	Aucun	(1) ¹
CP 7	Aucun	—	Aucun
CP 8 (éléments retirés de la ligne)	Aucun	Aucun	Aucun
CP 9 (éléments retirés de la ligne)	(1) ²	Aucun	(1) ¹
CP 10	2	—	Aucun
CP 11	Aucun	Aucun	Aucun
CP 12	Aucun	Aucun	Aucun
CP 13	7	5	5
CP 14	Aucun	Aucun	Aucun
CP 15	5	1	Aucun
CP 16	Aucun	Aucun	1
CP 17	3	4	1
CP 18	Aucun	Aucun	Aucun
CP 19	Aucun	2	Aucun
CP 20	Aucun	Aucun	1
CP 21 (éléments retirés de la ligne)	4	Aucun	Aucun

¹ L'élément a cassé juste en dessous de la valeur de la charge nominale.

² L'élément a été remplacé par un autre.

TABLE VII

*Number of failures observed below rated load values
for cap and pin type string insulator units*

Type of string insulator unit (code designation)	In thermal-mechanical performance test	In mechanical performance test	In ordinary electromechanical or mechanical failing load test
CP 1 (units removed from line)	8	2	2
CP 2	9	None	2
CP 3 (units removed from line)	8	7	8
CP 4 (units removed from line)	10	8	8
CP 5 (units removed from line)	2	None	None
CP 5 (units kept in store from 1951 to 1971)	2	1	None
CP 6 (units removed from line)	None	None	(1) ¹
CP 7	None	—	None
CP 8 (units removed from line)	None	None	None
CP 9 (units removed from line)	(1) ²	None	(1) ¹
CP 10	2	—	None
CP 11	None	None	None
CP 12	None	None	None
CP 13	7	5	5
CP 14	None	None	None
CP 15	5	1	None
CP 16	None	None	1
CP 17	3	4	1
CP 18	None	None	None
CP 19	None	2	None
CP 20	None	None	1
CP 21 (units removed from line)	4	None	None

¹ The unit failed just below rated load value.

² The unit was replaced by another.

TABLEAU VIII

*Nombre de ruptures observées en dessous des valeurs de charge nominale
pour les éléments de chaînes d'isolateurs du type fût long*

Type d'élément de chaîne d'isolateur (désignation en code)	Dans l'essai d'endurance thermomécanique	Dans l'essai d'endurance mécanique	Dans l'essai de charge de rupture mécanique ordinaire
LR 1	(1) ¹	Aucun	Aucun
LR 2	Aucun	Aucun	Aucun
LR 3	Aucun	1	Aucun
LR 4	8	5	(1) ¹
LR 5	1	Aucun	Aucun
LR 6	1	Aucun	1
LR 7	Aucun	Aucun	Aucun
LR 8	Aucun	—	Aucun
LR 9	Aucun	—	Aucun

¹ L'élément a cassé juste en dessous de la valeur de la charge nominale.

A6. Critères pour juger les résultats d'essai

Comme on le voit dans l'étude des résultats, certains types d'isolateurs présentent des résultats d'essai d'endurance entièrement comparables aux résultats des essais de rupture électromécanique ou mécanique ordinaire, tandis que d'autres ne le font pas. Manifestement, on peut affirmer que les variations de température et les charges et décharges qu'implique l'essai d'endurance thermomécanique ont un effet sur la résistance mécanique des éléments de chaînes d'isolateurs dans certains cas. La charge et la décharge seules également, comme dans l'essai d'endurance mécanique, ont conduit dans certains cas à une diminution de la résistance mécanique, moins fortement marquée cependant. Pour autant que les expériences en service ont été exposées, ces quelques cas peuvent être mis en corrélation avec les plus ou moins grandes fréquences de défauts sur le terrain. Le contraire existe également, c'est-à-dire le bon comportement de l'isolateur aux essais peut être mis en corrélation avec des rapports de service excellents.

Quand on examine l'ensemble des essais d'endurance, le principe est que leurs résultats doivent être analogues à ceux de l'essai ordinaire de rupture électromécanique ou mécanique. Ainsi, la charge de rupture électromécanique ou mécanique spécifiée qui s'applique à l'essai ordinaire de rupture électromécanique ou mécanique devrait être également atteinte au cours des essais d'endurance.

Il peut être utile de tenir compte du type de rupture.

Les résultats d'essai, en liaison avec les expériences en service, ne récusent pas une telle base pour l'acceptation ou le refus. De plus, on peut ajouter, pour répondre à un jugement rigoureux, qu'on ne devrait pas obtenir la perforation avant d'avoir atteint la charge maximale et la rupture complète.

TABLE VIII

*Number of failures observed below rated load values
for long rod type string insulator units*

Type of string insulator unit (code designation)	In thermal-mechanical performance test	In mechanical performance test	In ordinary mechanical failing load test
LR 1	(1) ¹	None	None
LR 2	None	None	None
LR 3	None	1	None
LR 4	8	5	(1) ¹
LR 5	1	None	None
LR 6	1	None	1
LR 7	None	None	None
LR 8	None	—	None
LR 9	None	—	None

¹ The unit failed just below rated load value.

A6. Criteria for judging test results

As is seen from the survey of results, some insulator types exhibited performance test results fully matching the results of the ordinary electromechanical or mechanical failing load tests, whereas others did not. Obviously, it may be stated that the temperature variations and the loading and unloading involved in the thermal-mechanical performance test have an effect upon the mechanical strength of string insulator units in certain cases. Also loading and unloading alone, just as was done in the mechanical performance test, have in some cases caused a drop in the insulator strength, however, less strongly marked. As far as service experiences have been stated, these cases can be correlated with more or less high frequencies of faults in the field. The opposite exists too, i.e. good insulator behaviour in the tests can be correlated with excellent service records.

When judging the outcome of the performance tests, the standpoint in principle is that the results of the performance tests shall match the results of the ordinary electromechanical or mechanical failing load test. Thus, the specified electromechanical or mechanical failing load that applies to the ordinary electromechanical or mechanical failing load test should be reached also in the performance tests.

Consideration of the fracture pattern may be useful.

The test results in conjunction with service experiences do not contest such a basis for acceptance or refusal. In addition, it may be added that a rigorous judgement would not allow puncture to occur before reaching the maximum load and the ultimate fracture.

Dans le rapport de la CEI (Publication 591) mentionné précédemment au sujet des valeurs moyennes et des écarts types, on recommande un indice Q_s tenant compte de la grandeur de cette moyenne et de l'écart type. Il peut être utile d'adopter cet indice comme première base d'acceptation ou de refus. L'indice est défini par

$$Q_s = \frac{\bar{R} - R_s}{s}$$

où:

$\bar{R}$ = valeur moyenne de l'essai

R_s = charge de rupture électromécanique ou mécanique spécifiée (valeur de charge nominale)

s = écart type

Par suite de principes de dessin et de matériaux différents, la gamme des valeurs de Q_s diffère suivant les différents types d'isolateurs, capot et tige; elle peut être différente pour les isolateurs capot et tige et les isolateurs fût long.

Différentes constantes d'acceptation k correspondant à différents effectifs d'échantillon sont énumérées ci-dessous:

<i>Effectif de l'échantillon</i>	<i>Constante d'acceptation k</i>
5 éléments	1,40
10 éléments	1,58
15 éléments	1,65
20 éléments	1,69
25 éléments	1,72
30 éléments	1,73

Q_s doit être égal ou supérieur à la constante d'acceptation k pour répondre à l'exigence qualitative. La signification de cette exigence qualitative est simplement que $\bar{R}$ doit être au moins égale à $R_s + 1,40 s$ dans le cas de cinq éléments essayés, $R_s + 1,58 s$ dans le cas de dix éléments essayés, et ainsi de suite.

Les valeurs moyennes et les valeurs d'écart type obtenues dans les essais de rupture électromécaniques ou mécaniques ordinaires, données dans les tableaux III à VI, ont été converties en valeurs de Q_s , (voir les tableaux IX et X). Les chiffres entre parenthèses sont inférieurs aux constantes d'acceptation.

On peut voir au tableau IX que les éléments de chaînes d'isolateurs du type capot et tige CP 6, CP 7, CP 8, CP 9 (sans tenir compte de l'élément remplacé), CP 11, CP 12, CP 14 et CP 18 ont répondu au niveau défini par les constantes d'acceptation k dans l'ensemble des trois essais. On peut également voir que les valeurs de Q_s sont grandement divergentes, de 1,80 à 15,04. En règle générale, les valeurs de Q_s très au-dessus des constantes d'acceptation k doivent être attribuées à une variation extrêmement faible dans les résultats d'essai à cause des petites dimensions des échantillons employés dans les essais, c'est-à-dire à une affaire de chance, et ne doivent pas être considérées comme un critère d'endurance supérieure. Par exemple, les éléments CP 11 ont présenté aux essais des résistances très proches les unes des autres telles que $113,2 \pm 4,7$ kN, $112 \pm 6,5$ kN et $120,6 \pm 2,7$ kN, exprimées en fonction des moyennes et des écarts types, et seulement des ruptures métalliques. Néanmoins, les valeurs correspondantes de Q_s étaient très inégales, respectivement 7,06, 4,92 et 15,04.

In IEC Report (Publication 591) referred to before in conjunction with the formulae for mean and standard deviation, an index Q_s is recommended taking into account the magnitude of the mean as well as the magnitude of the standard deviation. It may be useful to adopt this index as a first basis for acceptance or refusal. The index is defined by

$$Q_s = \frac{\bar{R} - R_s}{s}$$

where:

$\bar{R}$ = mean value of the test

R_s = specified electromechanical or mechanical failing load (rated load value)

s = standard deviation

Owing to different design criteria and materials the ranges of Q_s differ for different designs of cap and pin type insulator, and the ranges for cap and pin insulators and long rod insulators may be different.

Different acceptance constants k corresponding to different sample sizes are enumerated below:

Sample size	Acceptance constant k
5 units	1.40
10 units	1.58
15 units	1.65
20 units	1.69
25 units	1.72
30 units	1.73

Q_s has to be equal to or greater than the acceptance constant k to meet the requirement. The meaning of this requirement is simply that $\bar{R}$ shall be at least equal to $R_s + 1.40 s$ in case of five units tested, equal to $R_s + 1.58 s$ in case of ten units, and so on.

The mean values and the standard deviation values obtained in the performance tests and in the ordinary electromechanical or mechanical failing load tests given in Tables III to VI have been converted into Q_s values (see Tables IX and X). Figures noted within parentheses are below the acceptance constants.

It is seen from Table IX that the cap and pin type string insulator units CP 6, CP 7, CP 8, CP 9 (replaced unit not considered), CP 11, CP 12, CP 14 and CP 18 met the acceptance constant k in all three tests. It is also seen that the Q_s values differed widely from 1.80 to 15.04. As a rule, Q_s values much above the acceptance constant k are to be attributed to an extremely small dispersion in the test results because of the small sample sizes used in the tests, that is to say to a matter of chance, and are not to be seen as a criterion of superior performance. For example, the CP 11 units exhibited strengths in the tests as nearly equal as 113.2 ± 4.7 kN, 112.0 ± 6.5 kN and 120.6 ± 2.7 kN, expressed in terms of means and standard deviations, and metal fractures only. Nevertheless, the corresponding Q_s values were very unequal, 7.06, 4.92 and 15.04, respectively.

TABLEAU IX

Valeurs de l'indice Q_s pour les éléments de chaînes d'isolateurs du type capot et tige essayés

(Voir les tableaux III, IV et V)

Type d'élément de chaîne d'isolateur (désignation en code)	Valeur Q_s correspondant aux résultats de l'essai d'endurance thermomécanique ¹	Valeur Q_s correspondant aux résultats de l'essai d'endurance mécanique ¹	Valeur Q_s correspondant aux résultats de l'essai de rupture électromécanique ou mécanique ordinaire ¹
CP 1 (éléments retirés de la ligne)	(-2,08)	(0,88)	(0,84)
CP 2	(-) ²	1,69	(0,51)
CP 3 (éléments retirés de la ligne)	(-0,78)	(-0,47)	(-0,46)
CP 4 (éléments retirés de la ligne)	(-) ²	(-0,97)	(-1,02)
CP 5 (éléments retirés de la ligne)	(0,75)	(1,16)	1,93
CP 5 (éléments conservés en magasin de 1951 à 1971)	(0,54)	(0,41)	(1,18)
CP 6 (éléments retirés de la ligne)	1,98	2,90	2,22
CP 7	2,49	—	4,35
CP 8 (éléments retirés de la ligne)	6,66	7,93	4,21
CP 9 (éléments retirés de la ligne)	1,80 ³ (0,97)	2,37	2,74
CP 10	(0,21)	—	(1,47)
CP 11	7,06	4,92	15,04
CP 12	5,50	3,88	4,00
CP 13	(-0,37)	(0,07)	(0,23)
CP 14	8,00	4,05	6,79
CP 15	(-0,32)	(1,31)	(1,46)
CP 16	2,10	2,53	(1,50)
CP 17	(0,65)	(0,28)	(1,38)
CP 18	5,86	6,83	9,00
CP 19	10,75	(1,50)	3,00
CP 20	4,38	(1,53)	(1,41)
CP 21 (éléments retirés de la ligne)	(0,27)	4,67	6,44

¹ Les chiffres entre parenthèses sont inférieurs aux constantes d'acceptation k .

² Tous les éléments d'isolateur ont été trouvés défectueux après charge à 60 % pendant la phase initiale de l'essai.

³ Valeur Q_s si l'on tient compte de l'élément de remplacement.

TABLE IX

Index values Q_s for cap and pin type string insulator units tested

(See Tables III, IV and V)

Type of string insulator unit (code designation)	Q_s value corresponding to the results of thermal-mechanical performance test ¹	Q_s value corresponding to the results of mechanical performance test ¹	Q_s value corresponding to the results of ordinary electromechanical or mechanical failing load test ¹
CP 1 (units removed from line)	(-2.08)	(0.88)	(0.84)
CP 2	(-) ²	1.69	(0.51)
CP 3 (units removed from line)	(-0.78)	(-0.47)	(-0.46)
CP 4 (units removed from line)	(-) ²	(-0.97)	(-1.02)
CP 5 (units removed from line)	(0.75)	(1.16)	1.93
CP 5 (units kept in store from 1951 to 1971)	(0.54)	(0.41)	(1.18)
CP 6 (units removed from line)	1.98	2.90	2.22
CP 7	2.49	—	4.35
CP 8 (units removed from line)	6.66	7.93	4.21
CP 9 (units removed from line)	1.80 ³ (0.97)	2.37	2.74
CP 10	(0.21)	—	(1.47)
CP 11	7.06	4.92	15.04
CP 12	5.50	3.88	4.00
CP 13	(-0.37)	(0.07)	(0.23)
CP 14	8.00	4.05	6.79
CP 15	(-0.32)	(1.31)	(1.46)
CP 16	2.10	2.53	(1.50)
CP 17	(0.65)	(0.28)	(1.38)
CP 18	5.86	6.83	9.00
CP 19	10.75	(1.50)	3.00
CP 20	4.38	(1.53)	(1.41)
CP 21 (units removed from line)	(0.27)	4.67	6.44

¹ Figures within parentheses are below acceptance constants k .

² All insulator units were found to be faulty after the 60% load during the initial stage of the test.

³ Q_s value if replaced unit is considered.

TABLEAU X

Valeurs de l'indice Q_s pour les éléments de chaînes d'isolateurs du type fût long essayés

(Voir le tableau VI)

Type d'élément de chaîne d'isolateur (désignation en code)	Valeur Q_s correspondant aux résultats de l'essai d'endurance thermomécanique ¹	Valeur Q_s correspondant aux résultats de l'essai d'endurance mécanique ¹	Valeur Q_s correspondant aux résultats de l'essai de rupture électromécanique ou mécanique ordinaire ¹
LR 1	3,04	4,79	3,45
LR 2	1,91	1,98	1,72
LR 3	2,78	(1,58)	3,95
LR 4	(-0,04)	(0,63)	(1,17)
LR 5	1,83	3,75	3,17
LR 6	(1,42)	1,74	(1,50)
LR 7	2,71	3,73	5,17
LR 8	12,11	—	9,25
LR 9	6,87	—	5,11

¹ Les chiffres entre parenthèses sont inférieurs aux constantes d'acceptation k .

Les éléments de chaînes d'isolateurs du type capot et tige CP 1, CP 2, CP 3, CP 4, CP 5, CP 10, CP 13, CP 15 et CP 17 (voir le tableau IX) n'ont pas atteint des valeurs de Q_s supérieures ou égales aux constantes d'acceptation k , soit dans les essais d'endurance, soit dans les essais de rupture électromécanique ordinaires, sauf pour la valeur de Q_s de 1,69 se rapportant aux éléments CP 2 et sauf pour la valeur de Q_s de 1,93 se rapportant aux éléments CP 5. On peut affirmer, cependant, que les valeurs de Q_s correspondant aux résultats des essais de rupture électromécanique ordinaires étaient plus ou moins dépendants du hasard en ce qui concerne les éléments CP 5, CP 10, CP 15 et CP 17. Dans ces cas, Q_s pouvait aussi bien être égal ou supérieur aux constantes d'acceptation k . Mais les résultats obtenus dans les essais d'endurance thermomécanique vérifient très distinctement que les éléments doivent être classés comme étant mauvais du point de vue résistance mécanique.

Les éléments de chaînes d'isolateurs du type capot et tige CP 21 ont présenté un mauvais comportement dans l'essai d'endurance thermomécanique seulement.

Les éléments de chaînes d'isolateurs du type capot et tige CP 16, CP 19 et CP 20 présentent des valeurs de Q_s inférieures aux constantes d'acceptation k dans les essais de rupture électromécanique ordinaires et/ou les essais d'endurance mécanique et peuvent, de ce fait, être considérés comme des types (ou lots) plus ou moins douteux.

Pour les éléments de chaînes d'isolateurs du type fût long, il est évident que les éléments LR 4 étaient mauvais du point de vue résistance du capot (voir le tableau VI).

TABLE X

Index values Q_s for long rod type string insulator units tested

(See Table VI)

Type of string insulator unit (code designation)	Q_s value corresponding to the results of thermal-mechanical performance test ¹	Q_s value corresponding to the results of mechanical performance test ¹	Q_s value corresponding to the results of ordinary electromechanical or mechanical failing load test ¹
LR 1	3.04	4.79	3.45
LR 2	1.91	1.98	1.72
LR 3	2.78	(1.58)	3.95
LR 4	(-0.04)	(0.63)	(1.17)
LR 5	1.83	3.75	3.17
LR 6	(1.42)	1.74	(1.50)
LR 7	2.71	3.73	5.17
LR 8	12.11	—	9.25
LR 9	6.87	—	5.11

¹ Figures within parentheses are below acceptance constants k .

The cap and pin type string insulator units CP 1, CP 2, CP 3, CP 4, CP 5, CP 10, CP 13, CP 15 and CP 17 (see Table IX) did not reach Q_s values above or equal to the acceptance constants k in either the performance tests or in the ordinary failing load tests, except for the Q_s value of 1.69 relating to CP 2 units and the Q_s value of 1.93 relating to CP 5 units. It may be stated however, that the Q_s values corresponding to the results of the ordinary failing load tests were more or less dependent on chance as far as the CP 5, CP 10, CP 15 and CP 17 units are concerned. In these cases, Q_s might as well have been equal to or above the acceptance constants k . But the results obtained in the thermal-mechanical performance tests verify very distinctly that the units are to be classified as bad in respect of mechanical strength.

The cap and pin type string insulator units CP 21 have shown unsatisfactory behaviour in the thermal-mechanical performance test only.

The cap and pin type string insulator units CP 16, CP 19 and CP 20 exhibited Q_s values below the acceptance constants k in the ordinary failing load tests and/or the mechanical performance tests and may, on that account, be regarded as more or less doubtful types (or batches).

As regards the long rod type string insulator units, it is obvious that the LR 4 units were bad in respect of cap strength (see Table VI).

A7. Conclusions

Dans la mesure où les données de l'expérience en service ont été énoncées, les résultats obtenus dans les essais d'endurance thermomécanique correspondent très bien aux états de service. Il est évident que la méthode d'essai thermomécanique sous la forme utilisée peut être considérée comme utile en tant qu'essai de type.

L'essai d'endurance mécanique proposé comme essai sur prélèvements, en remplacement de l'essai mécanique de 24 h périmé, semble avoir une influence dans le cas de gros défauts de fabrication seulement. L'essai peut, toutefois, être considéré comme plus concluant que l'essai de 24 h. On doit noter, cependant, qu'un essai sur prélèvements plus efficace est souhaitable.

A7. Conclusions

As far as service experience has been stated, the results obtained in the thermal-mechanical performance tests correspond very well to service records. Obviously, the thermal-mechanical test method in the applied form may be considered useful as a type test.

The mechanical performance test proposed as a sample test substituting the obsolete 24-hour mechanical test seems to have an effect in the case of gross manufacturing faults only. The test may anyhow be considered more decisive than the 24-hour test. It is to be noted, however, that a more efficient sample test is desirable.

ICS 29.080.10

Typeset and printed by the IEC Central Office
GENEVA, SWITZERLAND