

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 71 A

Première édition — First edition

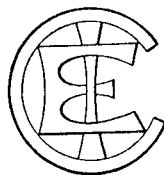
1962

**Supplément à la Publication 71 :
Recommandations pour la coordination de l'isolement**

Guide d'application

**Supplement to Publication 71 :
Recommendations for insulation co-ordination**

Application Guide



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60071A:1962

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 71 A

Première édition — First edition

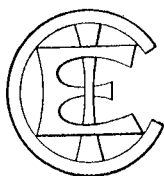
1962

**Supplément à la Publication 71 :
Recommandations pour la coordination de l'isolement**

Guide d'application

**Supplement to Publication 71 :
Recommendations for insulation co-ordination**

Application Guide



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
INTRODUCTION GÉNÉRALE	6
SECTION UN — OBJET, NOTATIONS	6
SECTION DEUX — LES DIVERSES CATÉGORIES DE SURTENSIONS	8
SECTION TROIS — REMARQUES SUR LES NIVEAUX D'ISOLEMENT DES MATÉRIELS	14
SECTION QUATRE — REMARQUES SUR LES DISPOSITIFS DE LIMITATION DES SURTENSIONS	18
SECTION CINQ — L'ASSOCIATION DU DISPOSITIF DE PROTECTION AVEC L'OBJET A PROTÉGER	20
SECTION SIX — DISTANCES A TRAVERS UN INTERVALLE D'AIR ENTRE PIÈCES CONDUCTRICES SOUS TENSION ET MASSE, EN VUE D'OBTENIR UNE TENSION DE TENUE AU CHOC A SEC SPÉCIFIÉE	26
<i>Annexe A</i> — EMPLOI DES ÉCLATEURS COMME DISPOSITIF DE PROTECTION	30

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
GENERAL INTRODUCTION	7
SECTION ONE — OBJECT, NOTATIONS	7
SECTION TWO — THE VARIOUS TYPES OF OVERVOLTAGES	9
SECTION THREE — CONSIDERATIONS ON THE INSULATION WITHSTAND LEVELS OF THE EQUIPMENT	15
SECTION FOUR — CONSIDERATIONS ON THE PROTECTIVE DEVICES AGAINST OVERVOLTAGES	19
SECTION FIVE — THE CORRELATION BETWEEN THE APPARATUS TO BE PROTECTED AND THE PROTECTIVE DEVICE	21
SECTION SIX — CLEARANCES IN AIR BETWEEN LIVE CONDUCTIVE PARTS AND EARTHED STRUCTURES TO OBTAIN A SPECIFIED IMPULSE WITHSTAND VOLTAGE FOR DRY CONDITIONS	27
Appendix A — USE OF SPARK GAPS AS A PROTECTIVE DEVICE	31

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**SUPPLÉMENT A LA PUBLICATION 71:
RECOMMANDATIONS POUR LA COORDINATION DE L'ISOLEMENT**

Guide d'application

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la C E I 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 cette unification internationale, la C E I exprime le vœu que tous les Comités nationaux ne possédant pas encore de règles nationales, lorsqu'ils préparent ces règles, prennent comme base fondamentale de ces règles les recommandations de la C E I dans la mesure où les conditions nationales le permettent
- 4) On reconnaît qu'il est désirable que l'accord international sur ces questions soit suivi d'un effort pour harmoniser les règles nationales de normalisation avec ces recommandations dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Les Comités nationaux s'engagent à user de leur influence dans ce but.

PRÉFACE

La présente publication a été établie par le Comité d'Etudes N° 28, Coordination de l'isolement. Les travaux relatifs au guide d'application débutèrent lors de la réunion tenue à Philadelphie en 1954; des discussions de cette question eurent lieu lors de réunions tenues à Munich en 1956, à Stockholm en 1958 et à Madrid en 1959.

A la suite de la réunion de Madrid, les parties du projet concernant les parafoudres furent établies en collaboration avec le Comité d'Etudes N° 37, Parafoudres.

Un projet définitif fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en septembre 1960.

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

Allemagne	Pays-Bas
Autriche	Portugal
Belgique	Roumanie
Danemark	Royaume-Uni
Etats-Unis d'Amérique	Suisse
Finlande	Tchécoslovaquie
France	Turquie
Hongrie	Union des Républiques Socialistes Soviétiques
Inde	Union Sud-Africaine
Italie	Yougoslavie
Norvège	

Lors de la mise au point du texte en vue de sa publication, il a été tenu compte des observations d'ordre rédactionnel soumises au cours de la période de vote, les modifications apportées n'affectent pas le sens du texte original. Les observations donnant lieu à des controverses seront traitées lors de réunions ultérieures du Comité d'Etudes N° 28.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SUPPLEMENT TO PUBLICATION 71: RECOMMENDATIONS FOR INSULATION CO-ORDINATION

Application Guide

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the I E C 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 this international unification, the I E C expresses the wish that all National Committees having as yet no national rules, when preparing such rules, should use the I E C recommendations as the fundamental basis for these rules in so far as national conditions will permit
- 4) The desirability is recognized of extending international agreement on these matters through an endeavour to harmonize national standardization rules with these recommendations in so far as national conditions will permit. The National Committees pledge their influence towards that end

PREFACE

This publication was prepared by Technical Committee No 28, Insulation Co-ordination. Work was initiated at the meeting held in Philadelphia in 1954, and subsequently discussions took place at meetings held in Munich in 1956, in Stockholm in 1958 and in Madrid in 1959.

Following the meeting held in Madrid, those parts of the draft that concern lightning arresters were prepared in collaboration with Technical Committee No 37, Lightning Arresters.

A final draft was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in September 1960.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Austria	Norway
Belgium	Portugal
Czechoslovakia	Romania
Denmark	Switzerland
Finland	Turkey
France	Union of South Africa
Germany	Union of Soviet Socialist Republics
Hungary	United Kingdom
India	United States of America
Italy	Yugoslavia
Netherlands	

Editorial comments submitted during the voting period have been taken into account in preparing the text for publication, any such changes made do not affect the sense of the original. Controversial comments will be dealt with in later meetings of Technical Committee No 28.

SUPPLÉMENT A LA PUBLICATION 71: RECOMMANDATIONS POUR LA COORDINATION DE L'ISOLEMENT

Guide d'application

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La présente publication constitue un guide pour la coordination de l'isolement des matériels électriques dans les postes, et pour l'application des dispositifs de protection contre les risques de tensions anormales d'origine diverses, par la coordination appropriée entre les niveaux des dispositifs de protection et de tenue de l'isolation des matériels à protéger.

Il s'agit là d'un sujet étendu, comportant de nombreuses ramifications. Il faudrait un gros volume pour considérer en détail tous les cas possibles. Ce n'est pas le but de ce guide, qui se limite à discuter les cas les plus essentiels et à orienter vers des solutions appropriées et économiques. Les cas plus complexes, par exemple celui des grands postes comprenant des matériels coûteux avec un certain nombre de câbles et de lignes, méritent évidemment étude particulière par des ingénieurs expérimentés.

Ce guide est divisé en plusieurs sections qui traitent les divers aspects du problème. Dans l'état actuel de la technique, une protection complète contre tout dommage dû aux sursensions est certainement réalisable. Cependant, de telles dispositions peuvent être très coûteuses et ne pas représenter par suite une solution industriellement satisfaisante. Des dispositions appropriées aux cas normaux, susceptibles d'apporter des solutions économiques, sont indiquées, elles sont basées sur des études théoriques, des résultats d'essais, et sur l'expérience.

La présente publication est essentiellement établie pour l'usage:

- des ingénieurs des différents comités spécialisés de la C E I afin de leur permettre de se référer, dans la préparation des parties de leurs recommandations qui concernent les conditions d'emploi des diverses catégories de matériel, aux principes de la coordination des isollements, établis par le Comité d'Etudes N° 28 en tant que chargé des questions d'isolation et de coordination
- des ingénieurs de réseaux qui ne sont pas spécialisés dans les problèmes de coordination des isollements, pour attirer leur attention sur toutes les questions à considérer et indiquer des solutions de première approximation, étant entendu que la recherche de la solution la plus économique peut demander dans chaque cas des études plus complètes.

SECTION UN — OBJET, NOTATIONS

1.1 Objet et référence aux Publications de la C E I existantes

La notion de la coordination, dont les principes de base sont exposés dans la Publication 71 (1960), page 14, consiste à définir la tenue des matériels à l'égard des sursensions, et à s'assurer que les niveaux de tenue de ces matériels présentent, par rapport aux niveaux de protection des dispositifs de protection associés, une marge appropriée ayant la sanction de l'expérience.

Diverses publications de la C E I apportent des précisions qui se rapportent respectivement aux niveaux de tenue et aux niveaux de protection considérés séparément. C'est ainsi que:

- a) pour ce qui concerne les niveaux de tenue, la Publication 71 (1960) donne le tableau des valeurs normalisées pour la tenue au choc et à fréquence industrielle. Ces recommandations ont été établies

SUPPLEMENT TO PUBLICATION 71: RECOMMENDATIONS FOR INSULATION CO-ORDINATION

Application Guide

GENERAL INTRODUCTION

The present publication provides some guidance in the co-ordination of insulation of electrical equipment in stations and in the application of protective devices intended to safeguard the apparatus against the hazards of abnormal voltages of various origins, by the proper co-ordination of protective devices with the apparatus to be protected

The subject is a broad one, with many ramifications. It would require a volume of considerable bulk to consider all possible cases in detail. This guide does not propose to do this, but it discusses the more basic cases and provides direction toward proper and economical solutions. The more complex cases, such as for example large stations to which costly apparatus and a number of lines or cables are connected, no doubt merit special study by experienced engineers.

This guide is divided into several sections dealing with different aspects of the problem. In the present state of the art, complete protection against damage from overvoltage undoubtedly can be provided. However, this may be extremely costly and therefore not good engineering. Procedures for normal cases are given which are expected to provide economical solutions. These are based on theoretical studies, on the results of tests, and on experience.

This publication has, in its essentials, been prepared for the use:

- of the members of the specialized I E C Committees to provide for their reference, in preparing any documents dealing with the conditions of use of the various kinds of apparatus, to principles established in Technical Committee No. 28 as the Committee concerned with questions of insulation and co-ordination
- of power system engineers without special knowledge of insulation co-ordination problems, to draw their attention to the points which must be taken into account and to offer approximate solutions, noting that the most economical solution in each case may require more detailed consideration and calculation

SECTION ONE — OBJECT, NOTATIONS

1.1 Object and reference to existing I E C Publications

The notion of insulation co-ordination, the basic principles of which are stated in I E C Publication 71 (1960), page 15, consists in stating the insulation strength of the equipment with regard to overvoltages, and in checking that the withstand level of the equipment has the required margin as based on experience with regard to the protective level of the associated protective device.

Different I E C Publications give recommendations which deal respectively with the withstand and protective levels considered separately. Thus:

- a) *for the withstand levels*, Publication 71 (1960) gives the table of the standard impulse and power-frequency values. These recommendations were established, following international discussions,

à la suite de discussions internationales, souvent sur une base de compromis, en s'attachant à une rédaction aussi concise et d'application aussi générale que possible. Elles laissent le choix entre diverses variantes, sans préciser autrement que d'une façon très brève leur cas d'application respectif.

- b) pour ce qui concerne les niveaux de protection, la Publication 99 de la C E I donne dans sa première partie (Publication 99-1) les caractéristiques au choc des parafoudres à résistance variable, et dans sa deuxième partie (Publication 99-2) celles des parafoudres à expulsion. (Les niveaux de protection au choc de certains modèles de parafoudres peuvent être inférieurs aux valeurs maximales indiquées dans ces documents.)

Il n'existe pas de recommandation de la C E I relative à l'emploi des éclateurs de protection qui sont utilisés dans certains cas pour la limitation des surtensions. Ces dispositifs de protection ne sont pas à considérer comme des appareils séparés, faisant l'objet de recommandations particulières de la C E I ; ils sont généralement constitués par de simples tiges de métal dont l'écartement peut être ajusté sur place selon les conditions à satisfaire.

Enfin, la relation à observer entre les niveaux de tenue et de protection n'est pas indiquée dans ces publications.

Aussi est-il apparu utile, de l'avis général, de compléter les recommandations particulières ci-dessus en y ajoutant divers commentaires et explications attirant l'attention sur les points demandant examen particulier, et mentionnant les exigences reconnues nécessaires par une expérience et des pratiques généralement reconnues; le fait de sanctionner ces pratiques dans un document international ne leur confère pas un caractère impératif; ce document reste sur le plan des simples conseils dont il est prudent de ne pas s'écarter sans raison valable, et qui peuvent aider ceux qui ont la responsabilité de leur application dans les réseaux.

1.2 Symboles utilisés dans le présent texte

U_m = tension efficace la plus élevée du réseau entre phases, au sens de la définition 2, page 10, de la Publication 71 (1960) de la C E I

N_t = niveau de tenue au choc d'un matériel

N_p = niveau de protection au choc d'un dispositif de protection

U_i = tension d'amorçage 100 % d'un éclateur à l'onde de tension pleine normalisée pour la polarité qui donne la tension d'amorçage la plus élevée

U_a = tension d'amorçage d'un éclateur à fréquence industrielle à sec, en valeur de crête

d = distance entre les électrodes d'un éclateur (distance d'amorçage)

SECTION DEUX — LES DIVERSES CATÉGORIES DE SURTENSIONS

2.1 Généralités

Le matériel d'un poste doit pouvoir supporter:

- les surtensions d'ondes de choc dues aux perturbations atmosphériques;
- les surélévations de tension à la fréquence du réseau,
- les surtensions de manœuvres;
- les surtensions transitoires qui peuvent apparaître lors de l'établissement ou de l'extinction d'un arc à la terre, et les surtensions par résonance sur harmoniques et par ferro-résonance

often on a compromise basis with a wording as concise and of as general an application as possible. They leave the choice open to various alternatives and can only very briefly indicate their respective cases of application.

- b) *for the protective levels*, Part 1 of I E C Publication 99 (Publication 99-1) gives the impulse characteristics of non-linear resistor type lightning arresters and Part 2 (Publication 99-2) gives those for expulsion-type lightning arresters. (Impulse levels of specific arresters may be lower than the maximum values given in that publication.)

There is no I E C Recommendation for protective spark-gaps which are used in some cases for the limitation of overvoltages: these protective devices are not a separate apparatus with corresponding I E C Recommendations, they consist generally of simple metallic rods which can be adjusted on the site according to the requirements.

Also, the relation to be observed between the protective level and withstand level is not indicated in the above publications.

Consequently, it appears useful, in the general consensus, to supplement the above recommendations by various explanations and comments, calling attention to the points requiring close consideration and mentioning the requirements found necessary in generally recognized experience and practice, the recognition of these practices in an international document does not confer on them a compulsory character, but does provide indications from which one should not depart without some specific reason and may assist those responsible in their application to systems.

1.2 Symbols used in the text

- U_m = highest r m s value of the phase-to-phase system voltage, according to definition 2, page 11, of I E C Publication 71 (1960)
- N_t = impulse withstand level of an apparatus
- N_p = impulse protective level of a surge protective device
- U_i = lowest voltage corresponding to 100 % sparkover of a gap with the standard full wave, for the polarity which gives the higher sparkover value
- U_a = power-frequency sparkover voltage of a gap, in dry conditions, peak value
- d = distance between the electrodes of a gap (sparkover distance)

SECTION TWO — THE VARIOUS TYPES OF OVERVOLTAGES

2.1 General

The high-voltage equipment of a station should withstand:

- surges of atmospheric origin;
- overvoltages at system frequency,
- switching surges,
- transient overvoltages, which may be caused by the appearance or the extinction of an arcing fault to ground, and overvoltages caused by the resonance of harmonics and ferro-resonance

2.2 Surtensions d'ondes de choc d'origine atmosphérique

L'amplitude, la raideur et le nombre des surtensions atmosphériques propagées le long des lignes jusqu'au poste, ou atteignant le poste même, dépendent des éléments suivants caractérisant la constitution du réseau et la configuration du poste :

- tension d'amoçage à la terre des lignes aboutissant au poste, les surtensions transmises dans les postes croissent en même temps que cette tension d'amoçage
- modification de l'impédance d'onde, et par suite de l'amplitude des ondes de choc qui atteignent le poste par suite du nombre plus ou moins grand de lignes ou de câbles connectés aux barres du poste. Par exemple, quand une seule ligne est connectée directement à l'appareil, l'amplitude de l'onde qui l'atteint est réfléchiée et peut atteindre jusqu'au double de l'amplitude de l'onde incidente, quand plus de deux lignes sont connectées, l'amplitude de l'onde atteignant le jeu de barres est moindre que celle de l'onde incidente
- câbles armés (avec armature à la terre) qui sont en série avec la ligne ou disposés entre les barres du poste et l'appareil à protéger (un câble court réduit surtout la raideur de la plupart des ondes arrivant au poste, un câble dont la longueur est de quelques kilomètres réduit aussi assez efficacement l'amplitude)
- fils de garde sur les lignes au delà du poste et leur prolongement éventuel sur le poste, tiges paratonnerre au-dessus du poste (l'amplitude et le nombre des surtensions peuvent être effectivement réduits par ces dispositifs, notamment dans le cas des réseaux à très haute tension, si les fils de garde ne s'étendent qu'à une distance limitée du poste, ils sont efficaces contre les coups de foudre rapprochés, qui sont les plus dangereux). Ceci suppose que les fils de garde ou tiges paratonnerre sont suffisamment bien disposés pour empêcher les coups directs d'atteindre les conducteurs de ligne au voisinage du poste ou le poste lui-même, soit directement ou par amoçage entre fil de garde ou tige paratonnerre et conducteur
- résistance de terre des pylônes : en cas de résistance de terre élevée, les décharges frappant les pylônes ou fils de garde risquent de provoquer des surtensions dans les lignes par amoçage en retour

2.3 Surélévations de tensions à la fréquence du réseau

Une surélévation de tension en un point du réseau à la fréquence du réseau peut apparaître :

- *par déclenchement d'une charge*

Dans les conditions d'exploitation normales, la tension entre phases ne dépasse pas la valeur U_m donnée par la définition 2, page 10, de la Publication 71 (1960) de la C E I, mais des valeurs plus élevées peuvent être atteintes temporairement en cas de déclenchement brusque de charges actives et réactives importantes, elles dépendent de la configuration du réseau après disjonction, et des caractéristiques des sources (puissance de court-circuit, réglage de vitesse et de tension des alternateurs, etc.)

Cet accroissement de tension peut être particulièrement important dans le cas de coupure de la charge à l'extrémité éloignée d'une longue ligne (effet Ferranti). Il affecte principalement les matériels du poste connectés côté ligne du disjoncteur

Note — Du point de vue de la surélévation de tension on pourra être amené à faire une distinction entre diverses configurations de réseau ; par exemple, comme cas extrêmes on distingue celles qui comportent de nombreuses lignes relativement courtes et des puissances de court circuit élevées aux postes d'extrémité et celles qui comportent une ou quelques longues lignes avec une puissance de court-circuit réduite du côté de la source. Avec ces dernières configurations, habituelles dans un réseau à très haute tension au premier stade de son développement, il peut résulter dans le poste à faible puissance raccordée des surélévations de tension à fréquence normale beaucoup plus élevées que dans le cas précédent, lors du déclenchement brusque de la ligne à l'autre extrémité

2.2 Surges of atmospheric origin

The amplitude, steepness and number of atmospheric overvoltages propagated along the lines to the station or striking the station itself, are related to the following elements which characterize the constitution of the system and arrangement of the station.

- flashover voltage to earth of the insulation of the incoming lines, the surges transmitted to the stations increase correspondingly to that voltage
- change in surge impedance, and consequently in the amplitude of surges arriving at the station, provided by those lines or cables which are connected in normal operation to the station busbars. For example, when one line is connected directly to the apparatus, the surge is reflected and its amplitude may reach up to twice the amplitude it had when arriving, when more than two lines are connected, the surge amplitude at the busbars is reduced below that of the incoming surge
- cables with an earthed metallic sheath which are in series with the line or connected between the station busbars and apparatus to be protected (a short cable mainly reduces the steepness of most of the waves entering the station, a cable of a few kilometres length also effectively reduces the amplitude)
- protective overhead earthed shielding wires over the station, and on the overhead lines extending to a few kilometres ahead of the station, lightning rods at the station (the amplitude and number of overvoltages may be effectively reduced by these arrangements, especially in the case of extra-high-voltage systems, if the shielding wires are extended from the station to a limited distance only, they are effective against close lightning strokes which are the most dangerous). This presupposes that the shielding is sufficiently well designed to prevent direct strokes reaching the station or line conductors close to the station, either directly or by flashover from shielding wire or rod to the conductor
- earth resistance of the towers: in case of a high value of the earth resistance, the discharges on the towers or shielding wires may cause overvoltages on the line by back flashovers

2.3 Overvoltages at the system frequency

An overvoltage at the system frequency, at a given point of the system, may appear by:

- *the disconnection of a load*

In the usual conditions of operation, the phase-to-phase voltage does not exceed the value U_m as given by definition 2, on page 11 of IEC Publication 71 (1960), but higher values may temporarily be reached in the case of sudden disconnection of large active and reactive loads, they depend on the system layout after disconnection and the characteristics of the sources (short-circuit MVA at the station, speed and voltage regulation of the generators, etc.)

This voltage rise may be specially important in case of load rejection at the remote end of a long line (Ferranti effect). It affects mainly the apparatus at the station connected on the line side of the circuit-breaker.

Note — From the point of view of overvoltages, a distinction should be made between various types of system layouts. As extreme cases we can consider: those with relatively short lines and high-value of the short-circuit power at the terminal stations; and those with long lines and reduced value of the short circuit power at the generating side. With the latter layouts, as are usual in an extra-high-voltage system in its initial stage, a much higher overvoltage at system frequency may result in the station when a large load is suddenly disconnected at the other end.

— par défaut à la terre

La surélévation de tension des phases saines par suite d'une mise à la terre fortuite sur une autre phase dépend en un point donné du réseau de la situation du neutre du réseau par rapport à la terre, caractérisée par son coefficient de mise à la terre au point considéré (voir Publication 71 (1960) de la C E I, définitions 11 à 14, page 12)

Remarques pour l'évaluation du coefficient de mise à la terre:

- a) En général, pour évaluer le coefficient de mise à la terre à un emplacement déterminé, on supposera par raison de simplicité que le défaut se produit à l'emplacement pour lequel on calcule le coefficient; mais dans certains cas particuliers, qui se rencontrent surtout quand le coefficient de mise à la terre dépasse 100 %, on pourra être amené à rechercher l'influence d'un emplacement différent du défaut pour en déduire la valeur la plus grande que peut prendre la tension à la terre des phases saines
- b) En principe, il y a pour un emplacement déterminé autant de valeurs particulières du coefficient de mise à la terre que de configurations possibles du réseau. On retiendra, pour caractériser l'emplacement, la plus élevée des valeurs correspondant aux différentes configurations qui se rencontrent dans la pratique
- c) Les configurations à considérer sont celles qui sont susceptibles de se présenter au cours du défaut; il y a donc lieu de tenir compte des modifications de la structure du réseau que le défaut lui-même a pu provoquer, par exemple en occasionnant l'ouverture d'interrupteurs
- d) Pour beaucoup de réseaux, on pourra se contenter d'un seul coefficient caractérisant d'une façon suffisamment approximative tous les emplacements du réseau. On peut alors parler de réseaux à neutre effectivement ou non effectivement à la terre, sans avoir à préciser l'emplacement considéré
- e) Enfin, on ne perdra pas de vue que la tension la plus élevée à fréquence normale qui peut apparaître entre phase saine et terre pendant un défaut à la terre, ne dépend pas seulement de la valeur du coefficient de mise à la terre, mais aussi de la tension entre phases à cet instant. Cette tension entre phases sera généralement prise égale à la tension U_m la plus élevée du réseau au sens de la définition 2 de la Publication 71 (1960) de la C E I; mais, dans certains cas, en vue de prévoir le comportement des dispositifs de protection ou de définir leurs caractéristiques, il est nécessaire de prendre en considération certaines surélévations temporaires entre phases qui peuvent apparaître au point considéré dans les conditions anormales qui sont exclues de la définition 2 de la Publication 71

2.4 Surtensions de manœuvre

Ces surtensions sont celles associées aux changements brusques de configuration des circuits qui sont provoqués par la manœuvre d'un disjoncteur, la fusion d'un fusible, etc., et mettent en jeu les phénomènes d'oscillation propres à ce circuit

Les surtensions de manœuvre dépendent en général tant des caractéristiques du dispositif de coupure que de la configuration des circuits, ces deux éléments sont donc à considérer

Les valeurs les plus élevées de ces surtensions sont rencontrées en général dans les conditions suivantes:

- a) Coupure de courants capacitifs (mise hors tension de lignes à vide, de câbles ou de batteries de condensateurs), lorsque l'interruption s'accompagne de réamorçage, ce qui peut donner lieu à des ondes de surtension ayant des raideurs plus grandes que celles des surtensions à fréquence industrielle, sans être en général aussi raides que celles causées par des coups de foudre rapprochés. Il faut tenir compte de ce que, à cause de la capacité élevée des câbles souterrains, avec ou sans armature à la terre, les surtensions de manœuvre correspondantes mettent en jeu une plus grande énergie que celle des lignes aériennes. Les surtensions à la terre ne seront élevées que si la capacité coupée est beaucoup plus élevée que celle côté barres du disjoncteur
- b) Coupure de courants inductifs faibles ou modérés (transformateurs à vide ou chargés sur réactances, ou coupures de réactances shunt), lorsque le disjoncteur interrompt le courant en dehors de son passage naturel par zéro

Les essais des disjoncteurs pour déterminer la valeur de ces surtensions sont à l'étude au Comité d'Etudes N° 17 de la C E I, Appareils d'interruption

Note — Il n'a pu, jusqu'à présent, être normalisé une forme d'onde qui soit regardée comme généralement représentative des surtensions de coupure, tant au point de vue de la tenue de l'isolation des matériels à ces surtensions qu'au point de vue du comportement des dispositifs de protection contre les surtensions

— *an earth fault*

The overvoltage on the sound phases when another phase is accidentally earthed depends at a given point of the system on the situation of the system neutral with respect to earth, as characterized by its coefficient of earthing at that point (see I E C Publication 71 (1960), definitions 11 to 14, page 13)

Remarks on the evaluation of the coefficient of earthing

- a) In general, in order to evaluate this coefficient at a given location, it is assumed for simplicity that the fault is located at the point for which the coefficient is desired; but, in some special cases, which are to be expected mainly when the coefficient of earthing exceeds 100%, it may be desirable to investigate the effect of other fault locations on the highest value of the voltage to earth
- b) In principle, there are as many particular values of the coefficient of earthing at a given location as different possible layouts of the system. The coefficient which characterizes the location is the highest of the values that correspond to the different system layouts which may occur in practice
- c) The system layouts which have to be considered are those which exist during the fault; thus one should take into consideration those changes in the system layout which may be produced by the fault itself, for example, on account of the operation of circuit-breakers
- d) For many systems, it will be sufficient to consider only one value of the coefficient of earthing which characterizes all the locations on the system with a sufficient approximation. It then becomes possible to speak of systems with an effectively or non-effectively earthed neutral without having to refer to a particular location
- e) Attention is drawn to the fact that *the highest voltage at system frequency* which may appear on a sound phase during an earth fault does not depend only on the value of this coefficient of earthing, but also on the value of the phase-to-phase voltage at the time. This phase-to-phase voltage will generally be taken as the highest system voltage, as given in definition 2 of I E C Publication 71 (1960); but, in some cases, in order to predict the operation of protective devices and specify their characteristics, it is necessary to take into account the increased value of the phase-to-phase voltage that may appear at the selected location under the abnormal conditions not covered by this definition

2.4 Switching surges

These overvoltages are those associated with sudden changes of the system parameters which are related to natural oscillations of the circuits as caused by the switching of a circuit-breaker, a disconnecting switch, the operation of a fuse, etc.

Switching overvoltages depend in general on the characteristics of the interrupting device and on the system layout, both of which require special consideration

The highest values of the overvoltages are usually obtained in the following conditions:

- a) interruption of capacitive currents: switching off unloaded long lines, or cables, or capacitor banks, in the case of restrikes of the circuit-breaker which can give rise to voltage waves that in general have steeper rates of rise than power frequencies but are usually not as steep as those caused by close lightning strokes. It should be borne in mind that because of the increased capacitance to earth, buried cables, with or without earthed metallic sheath, involve switching surges of higher energy than overhead lines, overvoltages to earth will only be severe when the capacitance switched is much larger than that existing on the busbar side of the circuit-breaker
- b) switching of small or moderate inductive currents (switching of transformers on no load, or loaded by reactance coils or switching of shunt reactors), when the circuit-breaker interrupts the current at a different time than at the natural zero

The tests to be carried out on circuit-breakers in order to determine these overvoltages are under study by I E C Technical Committee No. 17, Switchgear and Controlgear

Note — No standard shape considered as generally representative of switching surges has been accepted as yet, either for the withstand strength of the insulation to such overvoltages or for the behaviour of protective devices against such overvoltages

2 5 Surtensions dues aux arcs à la terre et surtensions par résonance sui harmonique ou par ferro-résonance

Ces surtensions de natures très variées se manifestent pour certaines configurations particulières:

- surtensions de caractère oscillatoire dues à l'établissement ou à l'extinction d'un arc à la terre, elles ont un caractère qui se rapproche de certaines surtensions de manœuvre et sont surtout à considérer sui les réseaux à neutre isolé
- les surtensions de ferro-résonance, susceptibles d'apparaître dans divers cas, notamment lors de manœuvres sui des tronçons de réseaux lorsque ces tronçons ne comportent pas de mise à la terre, certains courants circulant dans des bobines à noyau de fer se refermant par la capacité par rapport au sol par suite de la non-fermeture ou ouverture simultanée des phases différentes
- dans le cas de la mise sous tension d'une ligne reliée à un transformateur à l'extrémité éloignée, certaines surtensions peuvent apparaître du fait de la non-simultanéité entre les instants de fermeture des différentes phases, en liaison avec le déséquilibre magnétique des transformateurs

Dans les cas de ce genre, il peut ne pas être possible de limiter de façon satisfaisante les surtensions avec un dispositif de protection, ce qui conduit à modifier le schéma du réseau ou les modes d'exploitation

SECTION TROIS — REMARQUES SUR LES NIVEAUX D'ISOLEMENT DES MATÉRIELS

3 1 Le niveau d'isolement (ou de tenue) d'un matériel est défini (Publication 71 (1960), page 14) par l'ensemble de la valeur de tension d'essai de tenue au choc en onde pleine et de la valeur de tension d'essai de tenue à fréquence industrielle qui caractérisent la tenue de l'isolation de ce matériel aux contraintes diélectriques

Note — La tenue aux surtensions de manœuvre reste à l'étude. Dans l'état actuel des connaissances, cette tenue de l'isolation aux surtensions de manœuvre est estimée non inférieure à 0,85 fois la tension tenue au choc

3 2 **Dans la gamme des tensions au-dessous de $U_m = 100$ kV**, le tableau normalisé pour la série I de la Publication 71 (1960), page 18, indique pour chaque tension U_m de réseau une seule valeur de la tension de tenue au choc. Ce tableau laisse le choix, pour chaque valeur de tension de tenue au choc, entre deux valeurs correspondantes de la tension de tenue à fréquence industrielle, suivant les listes 1 et 2, ce choix étant laissé pour chaque genre de matériel à l'appréciation du Comité spécialisé de la C E I, de sorte que, pour un matériel donné, à une valeur choc correspond une seule valeur à fréquence industrielle (Généralement la liste 1 est choisie pour les matériels pour lesquels les isollements internes jouent un rôle prépondérant, et la liste 2 pour les matériels pour lesquels ce sont les isollements externes qui ont le rôle prépondérant)

3 3 **Dans la gamme des tensions à partir de $U_m = 100$ kV**, le tableau normalisé dans la Publication 71 (1960), page 20, indique deux colonnes I et II (pleine isolation et isolation réduite), en laissant le choix à partir de 245 kV, entre deux valeurs pour chaque tension U_m de réseau dans la colonne II

Le choix entre ces deux tensions de tenue réduites doit être fait en tenant compte:

- des caractéristiques des dispositifs de protection adoptés contre les surtensions des divers genres,
- des conditions de réalisation économique des matériels, de l'expérience acquise avec tel ou tel niveau d'isolement,
- des besoins de la normalisation, sui la base des conditions qui se présentent le plus habituellement dans les réseaux

2.5 Overvoltages due to arcing earths and overvoltages caused by the resonance of harmonics and ferro-resonance

These overvoltages are of various natures and appear for various particular system layouts:

- overvoltages of an oscillatory nature, due to the establishment or the extinction of an arcing earth, the character of such overvoltages is not essentially different from some types of switching surges and they occur mostly in insulated neutral systems
- ferro-resonance overvoltages, which may appear in various cases, e.g. during the process of switching in or out parts of the systems, when these parts or the systems have no earthing connections, and some of the currents circulate in coils with an iron core closed through the system capacitance to earth, due to the non-simultaneous closing or opening of all phases
- when a line with a transformer at the remote end is energized, overvoltages may be produced because of the non-simultaneous closing of the phases, in connection with the magnetic unbalance of transformers

In such cases, it may not be possible to limit satisfactorily the overvoltage with an overvoltage protective device and the layout of the system or the operating conditions may have to be modified

SECTION THREE — CONSIDERATIONS ON THE INSULATION WITHSTAND LEVELS OF THE EQUIPMENT

3.1 The insulation level of an apparatus, or its withstand level, is defined (page 15, Publication 71 (1960)) as the combination of the power-frequency and full-wave impulse test voltages which characterize its capability of withstanding the dielectric stresses

Note — The conditions for withstanding switching surges are under consideration. With the present knowledge, the withstand values for switching surges are not expected to be less than 0.85 times the impulse test value

3.2 **In the range of voltages below $U_m = 100$ kV**, the standardized table Series I on page 19 of Publication 71 (1960), indicates for each system voltage U_m one value of the impulse test voltage, the table leaves open the choice between two corresponding power-frequency test values, according to List 1 and List 2, the choice being left for each type of apparatus to the decision of the relevant IEC Committee, so that for a given type of equipment, to one impulse value corresponds one power-frequency value (Generally List 1 is chosen for the equipments for which the internal insulation is of the major importance, and List 2 for the equipments for which the external insulation is predominant)

3.3 **In the range of voltages above $U_m = 100$ kV**, the table of Publication 71 (1960), page 21, indicates two columns, I and II, full and reduced insulation, with two values for each system voltage U_m in Column II from 245 kV upwards

The choice between these two values of reduced insulation must take account of:

- the characteristics of the appropriate protective apparatus with regard to overvoltages of the various types,
- economy in design of the apparatus,
- the service experience with regard to the adopted insulation level,
- the need for standardization on the basis of the most usual conditions occurring in the system

Le tableau considéré associe à chacune des valeurs choc une seule valeur à fréquence industrielle, le rapport adopté entre ces deux tensions étant sensiblement le même dans toute la gamme des tensions

Il convient de remarquer que ce rapport ne traduit pas une relation physique bien définie entre la tenue intrinsèque du matériel donné aux surtensions de choc et à fréquence industrielle, c'est ainsi que dans un transformateur chaque structure partielle d'isolation aura en général son propre rapport particulier, un isolateur dans l'air pour l'extérieur essayé à fréquence industrielle sous pluie aura un rapport propre différent de celui d'un isolateur pour l'intérieur essayé à sec, etc

Mais le rapport tel qu'il résulte du tableau de la Publication 71 (1960), page 20, a été adopté dans un but de normalisation, pour limiter le nombre des niveaux d'isolement retenus comme cas C E I normaux, et par conséquent le nombre de types de matériels satisfaisant à ces niveaux, de sorte que, selon le cas particulier, ce sera soit la valeur normalisée choc, soit la valeur normalisée fréquence industrielle, qui déterminera la tenue de l'isolation

3 4 La vérification de la tenue d'un matériel est exécutée selon certaines modalités, les unes générales et d'autres particulières à ce genre de matériel. Les informations d'ordre général sur les modalités d'essai sont en préparation au Comité d'Etudes N° 42, Technique des essais à haute tension, les informations sur les conditions d'essai propres à chaque genre de matériel se trouvent dans les règles particulières relatives au matériel considéré

3 5 L'attention est attirée sur une distinction qu'il y a lieu de faire, sous l'angle de la tenue au choc, entre deux catégories de matériels:

- ceux pour lesquels il est prévu dans les règlements un essai au choc (tels que transformateurs, sectionneurs, disjoncteurs, traversées, etc),
- ceux pour lesquels un essai au choc n'est pas spécifié. En particulier, les ensembles montés sur place, tels que les jeux de barres, ne peuvent pas, en l'absence d'une installation de choc mobile, être essayés au choc dans les conditions mêmes de leur service

Pour ces derniers cas, on trouvera à la section six du présent guide la recommandation de distances minimales qui constituent un moyen d'estimation simple et souvent suffisant de la tenue diélectrique

3 6 Effet des longues lignes

Il peut être approprié de choisir un niveau d'isolement plus élevé pour un matériel qui reste constamment connecté à la ligne que pour un matériel connecté côté barres du poste (voir paragraphes 2 2 et 2 3)

3 7 Augmentation de la tenue de l'isolation par les surtensions de courte durée

En général, la tenue de l'isolation aux ondes de choc de courte durée (moins de une microseconde) est au moins de 15 % plus élevée que la tenue au choc en onde pleine normalisée. C'est le cas de l'isolation au papier dans l'huile et de tous les genres d'isolation externe

3 8 Ondes coupées

Un appareil comportant des enroulements haute tension qui ne sont établis que pour tenir l'essai d'onde pleine est vulnérable jusqu'à un certain point aux ondes coupées de grande amplitude à proximité de ses bornes, car des contraintes internes plus élevées que celles en ondes pleines peuvent apparaître entre spires et entre bobines. Tous les amorçages à la terre dans un poste ont pour conséquence des ondes coupées de diverses amplitudes et raideurs. Si ces ondes peuvent atteindre en service une valeur dangereuse, la tenue des enroulements à ces surtensions ne peut être déterminée que par un essai d'onde coupée approprié

This table associates with the impulse values one power-frequency value only, the ratio between these two voltages being nearly the same in the whole voltage range

It should be noted that this ratio does not correspond to any well defined physical relation between the impulse and power-frequency inherent withstand values for a given apparatus. Thus, in a transformer, each part of the insulation structure has in general its own inherent ratio, a bushing in air for outdoor use and tested under rain at power frequency has an inherent ratio different from a bushing of the indoor type tested dry, etc

But the ratio as resulting from the table of I E C Publication 71 (1960), page 21, has been adopted with an aim to standardization, in order to limit the number of combinations considered as normal, so that according to the case the insulation strength will be determined, either by the impulse value or the power-frequency value

3.4 The checking of the impulse withstand level of an equipment is carried out according to general concepts and to methods suitable for this type of equipment. All the information of a general order on test methods is being prepared by I E C Technical Committee No. 42, High-voltage Testing Techniques, and information on test conditions applicable to each type of equipment will be found in the particular rules for the equipment concerned

3.5 Attention is drawn to a distinction that must be made, with respect to the impulse withstand level, between two categories of equipment:

- the equipment for which an impulse withstand test is specified in the relevant rules (such as transformers, isolators, circuit-breakers, etc)
- the equipment for which no impulse test is specified, in particular the equipment which is constructed on the site and cannot be impulse tested in the absence of a portable impulse installation (such as busbars)

In this latter case, recommendations of minimum distances which constitute a simple, and often sufficient means of estimation of the dielectric withstand level, will be found in Section Six of the present Guide

3.6 Effect of long lines

A higher insulation level may have to be chosen for apparatus always connected to the line, as compared with apparatus on the busbar side of the circuit-breakers (see Sub-clauses 2.2 and 2.3)

3.7 Increase in the strength of the insulation for overvoltages of short duration

Generally, the strength of insulation to impulse waves of short duration (less than one microsecond) is at least 15% higher than the full-wave impulse insulation withstand strength. This is the case for oil and paper insulation, and all kinds of external insulation

3.8 Chopped waves

An apparatus with high-voltage windings designed to withstand only the full-wave test is vulnerable to a certain extent to a wave of high amplitude chopped in its vicinity, because higher internal stresses than under full-wave conditions may then be developed between turns and coils. All flashovers to earth in a station result in chopped waves of various degrees of amplitude and steepness. If these are liable to occur in service to a dangerous degree, the strength of the windings against such surges can only be determined by testing with a suitable chopped wave

SECTION QUATRE — REMARQUES SUR LES DISPOSITIFS DE LIMITATION DES SURTENSIONS

4.1 Ces dispositifs rentrent dans trois catégories principales:

- parafoudres à résistance variable,
- parafoudres à expulsion,
- éclateurs

Le choix entre ces dispositifs, qui n'assurent pas une protection aussi parfaite les uns que les autres, dépendra notamment de l'importance du matériel à protéger, des répercussions des interruptions de service, etc.

Nous examinerons ici leurs caractéristiques respectives sous l'angle de la coordination des isolements.

4.2 Parafoudres à résistance variable

Ces dispositifs de protection ont pour rôle de limiter les surtensions. Ils possèdent des moyens pour limiter le courant de suite à de faibles valeurs et l'interrompre. Ils sont définis et leurs caractéristiques sont données dans la Publication 99-1 de la C.E.I. Leur aptitude à interrompre le courant de suite est principalement fonction de la tension à la fréquence du réseau qui existe entre leur borne de ligne et leur borne de terre. En conséquence, leur tension nominale est spécifiée comme étant la tension la plus élevée à la fréquence du réseau pour laquelle ils peuvent interrompre le courant de suite. Il est donc important que la tension appliquée à la fréquence du réseau ne dépasse en aucun cas la tension nominale spécifiée du parafoudre lorsque celui-ci est susceptible de fonctionner.

4.2.1 Niveau de protection au choc

Le niveau de protection au choc d'un parafoudre est caractérisé par les tensions suivantes

- tension d'amorçage en onde de choc pleine normalisée (voir Tableau III¹),
- la tension résiduelle au courant de décharge nominal normalisé² (voir Tableau IV¹),
- la tension d'amorçage au choc sur front d'onde (voir Tableau III¹)

4.2.2 Niveau de protection aux surtensions de manœuvre

Aucune forme d'onde normalisée représentative de ce genre de surtension n'étant encore généralement acceptée, il n'est pas actuellement possible d'indiquer le niveau de protection d'un parafoudre pour ce genre de conditions.

Cette question fait actuellement l'objet d'études par le Comité d'Etudes N° 37, Parafoudres.

4.3 Parafoudres à expulsion

Ces dispositifs de protection fonctionnent pour limiter les surtensions et interrompre les courants de suite dans les limites correspondant à leur spécification. Ils ont de faibles tensions résiduelles.

¹ Les tableaux mentionnés sont ceux de la Publication 99-1. Ils donnent pour chaque tension nominale normalisée de parafoudre la limite supérieure de chacune de ces tensions. Lorsque des appareils de caractéristiques meilleures que celles spécifiées dans la Publication 99-1 peuvent être utilisés, on obtiendra du fabricant de ces appareils les tensions d'amorçage au choc correspondantes. En conséquence, il est recommandé d'utiliser pour les études de coordination les valeurs de tension réellement obtenues pour les caractéristiques de protection des parafoudres.

² Dans certains postes particulièrement sujets à des courants de foudre élevés, il peut être justifié d'utiliser la valeur de tension résiduelle qui correspond, non pas au courant nominal de décharge normalisé, mais à un courant plus élevé, correspondant à la condition la plus sévère pour laquelle on désire que la protection soit obtenue.

SECTION FOUR — CONSIDERATIONS ON THE PROTECTIVE DEVICES AGAINST OVERVOLTAGES

4.1 These devices fall under 3 classes

- non-linear resistor type lightning arresters,
- expulsion-type lightning arresters,
- spark-gaps

The choice between the above devices, all of which do not give the same degree of protection, depends on various factors, e.g. the importance of the equipment to be protected, the consequences of an interruption of service, etc.

Their characteristics will be considered hereafter from the point of view of insulation co-ordination.

4.2 Non-linear resistor type lightning arresters

These protective devices operate to limit overvoltages. They incorporate means of limiting the follow current to low values and of interrupting it. They are defined and their characteristics are given in IEC Publication 99-1. Their ability to interrupt follow current is principally a function of the power-frequency voltage existing across their line and earth terminals. Therefore they are rated in terms of maximum power-frequency voltage. This rating designates the maximum voltage of power frequency applied across the arrester terminals at which it will interrupt its follow current. It is therefore important that the applied power-frequency voltage never exceed the arrester voltage rating at times when the arrester is liable to operate.

4.2.1 Impulse protective level

The impulse protective level of a lightning arrester is characterized by the following voltages:

- the sparkover voltage for a standard full wave (see Table III ¹),
- the residual (discharge) voltage at the standard nominal discharge current ² (see Table IV ¹),
- the front-of-wave impulse sparkover voltage (see Table III ¹).

4.2.2 Protective level for switching surges

Since no standard waveshape representative of switching surges has been accepted generally as yet, no arrester protective level for these conditions can be assigned.

This question is under consideration by IEC Technical Committee No. 37, Lightning Arresters.

4.3 Expulsion-type lightning arresters

These protective devices operate to limit overvoltages and interrupt follow currents within their rating. They have low residual voltages.

¹ The tables mentioned are those in Publication 99-1. They give for each arrester voltage rating the upper limit for each of the above voltages. As better characteristics than those specified in Publication 99-1 become available, the actual voltages for the specific arrester will be obtainable from the manufacturer. Thus, it is recommended that the actual voltages for the arrester protective characteristics be used for co-ordination studies.

² In some stations particularly liable to high lightning current, it may be appropriate to use the value of the residual voltage corresponding, not to the standard nominal discharge current, but to the higher value associated with the most severe condition for which protection is desired.

Les caractéristiques d'amorçage au choc ressemblent à celles des éclateurs de protection, mais sont en général plus basses pour la même distance d'amorçage. La tension d'amorçage sur front d'onde des parafoodies à expulsion est plus élevée que celle des parafoodies à résistance variable.

Ces parafoodies peuvent ne pas limiter appréciablement l'amplitude du courant de suite avant de l'interruption, les courants nominaux d'interruption sont à comparer avec les courants de défaut éventuels, compte tenu de la tension de rétablissement propre au réseau au point d'installation de ces appareils.

Les parafoodies à expulsion de la classe « postes de distribution » sont établis pour la protection des matériels des postes; ils sont normalisés dans la gamme inférieure des hautes tensions jusqu'à 40 kV.

Les parafoodies à expulsion de la classe « ligne » sont établis essentiellement pour empêcher les amorçages des isolateurs de ligne et l'interruption de service qui en résulte. Ils ne conviennent en aucun cas pour la protection des matériels car, en général, leurs tensions d'amorçage au choc sont plus élevées que les tensions de tenue normalisées de l'isolation des matériels des postes.

Les caractéristiques requises pour la coordination des isolements telles qu'indiquées au paragraphe 4.2.1 pour les parafoodies à résistance variable, sont généralement applicables, avec cette exception que la tension résiduelle n'intervient pas dans le niveau de protection. Les valeurs de ces caractéristiques sont données dans la Publication 99-2, ou peuvent être obtenues du fabricant pour des modèles particuliers.

4.4. Eclateurs de protection

L'éclateur (annexe A) est un dispositif utilisé pour la protection contre les surtensions qui, en général, ne limite pas et n'intrompt pas le courant de suite. Son amorçage, s'il ne s'intrompt pas suffisamment vite sous l'effet de l'allongement de l'arc, détermine un déclenchement de disjoncteur par défaut à la terre, et, en cas d'amorçage des éclateurs de plusieurs phases, par défaut entre phases sur le réseau. Il y a lieu de tenir compte de ces possibilités quand on considère la protection d'un réseau contre les défauts, de sorte que l'emploi d'éclateurs réagit sur les conditions d'exploitation du réseau, indépendamment des considérations de protection contre les surtensions.

Note — Les éclateurs des lignes ne causent des amorçages supplémentaires de ces lignes que dans le cas où les ondes mobiles propagées le long des lignes dépassent la valeur de la tension d'amorçage de l'éclateur au choc, sans atteindre la tension de tenue de l'isolation de la ligne.

SECTION CINQ — L'ASSOCIATION DU DISPOSITIF DE PROTECTION AVEC L'OBJET A PROTÉGER

5.1. Le rôle d'un dispositif de protection contre les surtensions est

- de limiter la tension qui peut apparaître aux bornes de l'appareil à protéger,
- de localiser l'emplacement où le courant associé au fonctionnement du dispositif de protection est conduit à la terre et d'éviter autant que possible un amorçage qui causerait un dommage au matériel ou une interruption de service.

Le premier point seulement relève de la coordination des isolements.

5.2. La protection la plus satisfaisante d'un appareil donné, du point de vue de la limitation de la tension à ses bornes, est généralement obtenue en plaçant les dispositifs de protection aussi près qu'il est possible de l'appareil à protéger.

Note — Il convient de considérer en premier lieu la protection des appareils les plus coûteux du poste.

Si l'on utilise un seul jeu de dispositifs de protection pour le poste, on recherchera l'emplacement du dispositif de protection qui assure la meilleure protection d'ensemble, compte tenu non seulement du transformateur mais des disjoncteurs, réducteurs de mesure, etc. et du facteur de distance (voir le paragraphe 5.3.3).

The impulse sparkover characteristics resemble those of protective spark-gaps, but are in general lower for the same sparkover distance. The front-of-wave sparkover voltages of expulsion-type arresters are higher than those of the non-linear resistor type.

These arresters may not appreciably limit the amplitude of the follow current before interrupting it and have current-interrupting ratings which must be compared with the prospective fault current and the system inherent restriking voltage at the point of installation.

Distribution-class expulsion-type arresters are designed for the protection of apparatus with stations and are standardized in the lower range of high-voltage circuits up to 40 kV.

Transmission-class expulsion-type arresters are designed primarily to prevent flashovers of the line insulation and consequent supply interruption. They should never be used for the protection of apparatus because, in general, their impulse sparkover voltages are higher than the withstand voltages of standard apparatus insulation.

The characteristics required for insulation co-ordination, such as given in Sub-clause 4.2.1 for non-linear resistor type arresters, are generally applicable, except that the residual voltage has not to be considered for the protective level. The characteristics of these arresters are given in Publication 99-2, or can be obtained from the manufacturer for specific designs.

4.4 Protective spark-gaps

The spark-gap (Appendix A) is a device used for overvoltage protection which usually does not limit and interrupt the follow current. Its flashover, if not interrupted sufficiently rapidly by the effect of arc-length increase, causes circuit-breaker operation for an earth fault and, in the case of flashover of the gaps of several phases, a fault between phases in the system. Account must be taken of these possibilities when considering the protection of the system against faults, so that the use of spark-gaps involves the operating conditions of the system, in addition to the consideration of overvoltage protection.

Note — Line gaps will cause additional sparkovers on these lines only in the case of impulse waves propagated along the lines which do not attain the withstand level of the line insulation and exceed in the station the gap flashover voltage.

SECTION FIVE — THE CORRELATION BETWEEN THE APPARATUS TO BE PROTECTED AND THE PROTECTIVE DEVICE

5.1 The function of a protective device against overvoltages is

- to limit the voltage which can appear at the terminals of the apparatus to be protected,
- to localize the place where the current associated with the operation of the protective device is conducted to earth and to avoid as far as possible a flashover that would cause damage to the equipment or interruption in the supply.

Only the first point is relevant for the insulation co-ordination.

5.2 The best protection for a particular piece of equipment is generally obtained, from the point of view of the limitation of the voltage at its terminals, by placing the protective device as close as practicable to it.

Note — It is advisable to consider first the protection of the most costly part of the equipment of a station.

If only one set of protective devices is installed in a station, its location for the best overall protection should be aimed at, considering the transformer and also the circuit-breakers, instrument transformers, and taking account of the distance factor (see Sub-clause 5.3.3).

5 3 1^{er} cas: Protection par parafoudre à résistance variable

5 3 1 Ce cas est celui qui a servi de base à l'établissement de la Publication 71, les niveaux de tenue au choc indiqués dans cette publication sont compatibles pour les cas normaux avec les niveaux de protection au choc des parafoudres conformes à la Publication 99-1

Le niveau de protection, au point de vue de la coordination des isolements, est pris égal à la plus élevée des deux valeurs suivantes

- tension d'amorçage au choc à l'onde normalisée,
- tension résiduelle au courant de décharge nominal

Note — Pour les parafoudres conformes à la publication 99-1, il n'y a pas lieu de retenir la tension d'amorçage au choc sur front d'onde d'ordre indiqué en troisième lieu au paragraphe 4 2 1, car le rapport de cette tension aux deux précédentes ne dépasse pas la marge de tenue des matériels indiquée au paragraphe 3 7

5 3 2 Rapport du niveau de tenue au niveau de protection au choc

La valeur précise qui convient pour ce rapport ne peut être déterminée qu'après calculs et essais tenant compte des divers paramètres en cause

Faute d'une détermination précise on cherchera à se rapprocher, dans le cas d'un parafoudre placé aussi près que possible du matériel à protéger, d'un rapport de l'ordre de 1,4 dans la gamme inférieure des tensions et qui décroît jusqu'à 1,2 pour les tensions élevées

Note — Dans le cas d'altitudes supérieures au niveau de la mer, et pour l'isolation externe, la tension de tenue décroît suivant la densité de l'air (1,25 % par 100 m de 1 000 à 3 000 m), tandis que le niveau de protection des parafoudres étanches n'est pas influencé. Dans ce cas, le rapport désiré doit être maintenu à l'altitude du lieu d'utilisation

5 3 3 Influence de la distance entre le parafoudre et l'appareil à protéger

Quand le parafoudre est séparé de l'objet à protéger par une longueur de conducteur telle que la durée de propagation sur ce trajet n'est pas négligeable par rapport à la durée de front de l'onde incidente, il en résulte un accroissement de courte durée de la tension aux bornes de l'appareil à protéger au-dessus du niveau de protection du parafoudre

Cet accroissement est fonction d'un ensemble de conditions, situation amont ou aval du parafoudre par rapport à l'appareil à protéger, caractéristiques de la ligne, capacité de l'appareil à protéger, capacité totale de l'appareillage du poste et raideur de l'onde incidente

La zone de protection d'un parafoudre est la longueur de conducteur comprise entre le parafoudre et l'objet à protéger qui correspond à un accroissement de la tension aux bornes de l'appareil à protéger couvert par le rapport normalement adopté entre le niveau de tenue et le niveau de protection

Cette longueur est accrue par toute disposition qui limite la raideur des ondes arrivant au poste (prolongement des fils de garde, capacités localisées, câbles même courts, grand nombre de départs), ou par l'adoption d'un niveau de protection réduit

La détermination précise de la longueur de la zone de protection ne peut être faite qu'après études et calculs, en tenant compte des multiples paramètres en jeu énumérés ci-dessus

Une méthode appropriée pour déterminer la distance assurant la sécurité de la protection est à l'étude par le Comité d'Etudes N° 37 de la C E I, Parafoudres. En attendant l'accord sur cette méthode, les dispositions à adopter dans les installations importantes sont à décider par accord entre l'utilisateur du réseau et le fabricant de parafoudres

5 3 4 Rôle de la mise à la terre

Il est recommandé de connecter les terres de tous les parafoudres avec celles des matériels à protéger par des connexions aussi courtes que possible

5.3 First case: Protection with a non-linear resistor type lightning arrester

5.3.1 This is the basis of the insulation levels given in Publication 71, the withstand levels indicated in that publication are in agreement for normal cases with the protective levels of the arresters specified in Publication 99-1

The protective level for the purpose of co-ordination is taken as the higher of the two values

the standard full-wave sparkover voltage,

- the residual voltage at the nominal discharge current

Note — With arresters according to Publication 99-1, the front of-wave impulse sparkover voltage, indicated as a third item in Sub-clause 4.2.1 has not been retained, because the ratio of that voltage to the two preceding ones does not exceed the withstand margin of the apparatus as indicated in Sub-clause 3.9

5.3.2 Ratio of the impulse withstand level to the impulse protective level

The precise determination which is appropriate for this ratio can only be determined after calculation and test taking into account the various parameters involved

In the absence of a precise determination, one should attempt to approach, in the case of an arrester placed as close as possible to the apparatus to be protected, a ratio of the order of 1.4 in the lower voltage range, decreasing down to 1.2 for the higher voltages

Note — In the case of altitudes higher than sea level, for external insulation, the withstand voltage decreases according to the density of air (1.25 % per 100 m between 1 000 and 3 000 m) while the protective level of air-tight arresters is not influenced. In that case, the desired ratio should be maintained at the altitude of installation

5.3.3 Influence of the distance of the arrester from the apparatus to be protected

When the arrester is separated from the object to be protected by such a length of conductor that the time of propagation along that distance is not negligible compared with the front duration of the incoming wave, the effect is a short-time increase of the voltage at the terminals of the apparatus to be protected over the protective level of the arrester

The increase depends on a number of conditions: distance of the arrester and its location ahead of, or after, the apparatus to be protected, characteristics of the line, capacitance of the apparatus to be protected, total capacitance of the station apparatus and steepness of the incoming wave

The *protective zone* of the arrester is defined as the length of conductor between the arrester and apparatus to be protected which corresponds to an increase of the voltage at the terminals of the apparatus to be protected, which is covered by the margin normally adopted between the withstand and protective levels

That length is increased by all arrangements which limit the steepness of the surge arriving at the station (extension of the shielding wires, localized capacitance, cable (even short), large number of connected lines), or by the adoption of a reduced protective level

The precise determination of the length of the protective zone can only be made after calculation and test taking into account the various parameters listed above

Methods for determining safe separation distances are under consideration in IEC Technical Committee No. 37, Lightning Arresters. Pending agreement on such methods the dispositions to be adopted in important installations should be settled between the user and the lightning arrester manufacturer

5.3.4 Influence of earthing

It is recommended that earths of all arresters and equipment to be protected should be connected together by as short connections as possible

Si la résistance de terre des parafoudres est élevée, les tensions de choc qui apparaissent sur l'appareil protégé peuvent être sensiblement plus élevées que celles entre bornes du parafoudre. Il peut être nécessaire d'améliorer ces conditions pour obtenir le degré de protection désiré pour le matériel à protéger.

5.4 2^{me} cas: Protection par parafoudre à expulsion

5.4.1 Parafoudres à expulsion classe « postes de distribution »

Ces parafoudres sont utilisés dans les postes des réseaux de distribution qui n'ont pas en général de fils de garde. Ils sont généralement placés au voisinage immédiat de l'appareil à protéger.

L'annexe D de la Publication 99-2 de la C E I indique les conditions d'application de ces appareils.

5.4.2 Parafoudres à expulsion classe « ligne »

Ces parafoudres ne doivent jamais être utilisés pour la protection de l'isolation des matériels. Ils sont utilisés pour protéger l'isolation des lignes, non considérées dans le présent guide.

L'annexe D de la Publication 99-2 de la C E I indique l'application de ces appareils.

5.5 3^{me} cas: Protection par éclateurs

5.5.1 Ce mode de protection a été reconnu satisfaisant dans la pratique de divers pays dans des régions de sévérité orageuse modérée (niveau isokéraunique de l'ordre de 10 à 15), pour les réseaux où les surtensions de coupure n'atteignent pas des valeurs élevées.

L'ajustement des éclateurs à utiliser est souvent un compromis entre une protection parfaite et la continuité du service.

Lorsqu'on utilise des éclateurs de protection, il y a lieu de considérer, d'une part, le risque d'avarie du matériel du fait de la protection imparfaite, selon la valeur du matériel protégé et compte tenu du rôle de ce matériel au point de vue continuité du service, d'autre part, les conséquences des amorçages pour le réseau, qui dépendent de sa configuration et des organes de protection contre les défauts (disjoncteurs à réenclenchement, relais rapides, etc.).

5.5.2 Distance de l'éclateur à l'objet à protéger

Comme l'éclateur ne fournit une protection certaine que si l'onde incidente a une raideur de front limitée, une distance de quelques dizaines de mètres ne modifie pas en pratique de façon appréciable les conditions de la protection assurée à l'égard de telles ondes.

5.5.3 Sujétions de l'éclateur

a) Lorsque l'éclateur fonctionne sous l'effet d'une surtension et qu'un arc de puissance en résulte, il persiste souvent (voir paragraphe 4.4) jusqu'à ce qu'une protection agisse pour séparer l'éclateur de la source, ce qui constitue un court-circuit dans le cas d'un réseau à neutre directement à la terre et entraîne dans les postes d'alimentation importants un à-coup pour les divers matériels du réseau. L'emplacement de l'éclateur doit par conséquent être déterminé en relation avec ses effets sur la protection et l'exploitation du réseau.

b) L'éclateur est contre-indiqué au point de vue de la continuité de l'exploitation quand sa présence augmente sensiblement le nombre des déclenchements, comme suite aux amorçages qu'il provoque et qui ne s'éteignent pas naturellement ou ne sont pas éteints par coupure rapide suivie de réenclenchement rapide.

(On doit cependant noter que chaque fonctionnement d'éclateur ne provoque pas une interruption supplémentaire, car l'onde mobile de surtension peut, avant d'arriver au poste, avoir causé un arc de contournement de l'isolation de la ligne qu'il aurait fallu éteindre, même si un parafoudre avait été utilisé pour la protection du poste).

If the arrester earth resistance is high, the impulse voltages which appear at the protected apparatus may be substantially higher than those across the terminals of the arrester. In order to obtain the desired degree of protection for the apparatus, it may be necessary to improve these conditions.

5.4 Second case: Protection with an expulsion-type lightning arrester

5.4.1 *Distribution-class expulsion-type arresters*

These arresters are used on distribution circuits where there is generally no shielding. They are usually located at the apparatus to be protected.

Appendix D of IEC Publication 99-2 covers application procedures for distribution-class arresters.

5.4.2 *Transmission-class expulsion-type arresters*

These arresters should never be used for the protection of apparatus insulation. They are used for the protection of line insulation, which is not included in this guide. (For application of transmission-class expulsion-type arresters see IEC Publication 99-2, Appendix D.)

5.5 Third case: Protection with spark-gaps

5.5.1 This method of protection has been recognized as satisfactory in practice in some countries, in regions of moderate lightning severity (isokeraunic level 10 to 15), for systems in which switching surges do not reach high values.

The adjustment of the gaps to be used must often be a compromise between perfect protection and service continuity.

When using protective gaps, consideration should be given on the one hand to the risks of damage to the apparatus in case of incomplete protection, according to the value of the apparatus and its importance for the continuity of supply, on the other hand, to the consequences of breakdowns in the system according to its layout and arrangements for protection against faults (auto-reclosing breakers, fast relays, etc.).

5.5.2 *Distance of the spark-gap from the object to be protected*

As the spark-gap provides positive protection only if the incoming wave has a limited front-of-wave steepness, a distance of several tens of metres does not appreciably modify the conditions for the protection provided against such waves.

5.5.3 *Limitations of protective gap*

- a) When the gap operates on a voltage surge and a power-arc results, it frequently persists (see Sub-clause 4.4) until disconnected by a fault protective device, this constitutes a dead short-circuit in the case of a system with directly earthed neutral and entails mechanical stresses on the various parts of the system equipment. The location of the gap will therefore be considered in relation to its effect on the system protection and operation.
- b) The gap is unsuitable from the point of view of service continuity if its presence increases noticeably the number of trippings when these flashovers are neither self-extinguishing nor interrupted by means of high-speed tripping followed by high-speed reclosing switches.

(It should, however, be noted that each operation of the gap does not necessarily entail an additional tripping, as a travelling voltage wave may, before reaching the station, have caused a flashover of the line insulation, which flashover would have caused tripping even if an arrester had been used.)

- c) L'éclateur crée une onde coupée qui, au voisinage d'un appareil bobiné, peut imposer des contraintes supplémentaires en tête d'enroulement et aussi, par surtension transmise, aux autres enroulements
- d) Un défaut consécutif peut être provoqué lors de la coupure de courants inductifs (transformateur à vide ou chargé sur inductance) ou capacitifs (lignes à vide ou batteries de condensateurs), lorsque l'éclateur est placé du côté du circuit coupé, c'est-à-dire côté ligne en cas de coupure de ligne à vide, ou côté transformateur en cas de coupure de transformateur à vide, lorsque le disjoncteur est susceptible de donner lieu, en combinaison avec le circuit, à des surtensions de coupure élevées. En effet, si un amorçage a lieu de ce côté (sous l'effet de la surtension de coupure), un réamorçage peut se produire dans le disjoncteur, celui-ci qui était en train de couper un courant faible et dont les contacts sont déjà écartés, doit faire alors face brusquement à un courant de court-circuit franc. S'il n'a pas été prévu pour résister à ce type de défaut, il peut être endommagé.

5 6 4^{me} cas: On n'utilise aucun dispositif de protection contre les surtensions

En l'absence de tout dispositif particulier de protection, la surtension de choc due à la foudre n'est limitée que par les amorçages aux points les plus faibles que l'onde de choc rencontre dans sa propagation. Mal localisés, ces amorçages peuvent entraîner des effets destructeurs dans les postes, par ailleurs, une telle limitation n'est pas précise en raison des oscillations de tension et réflexions possibles du fait de la distance entre le point d'amorçage et les divers matériels.

Toutefois, la pratique peut conduire à regarder cette solution comme admissible dans les régions à faible sévérité orageuse (niveau isokéraunique de l'ordre de 5) et lorsqu'en outre les surtensions internes sont peu élevées, quitte éventuellement à adopter un niveau de tenue du matériel des postes plus élevé qu'il ne serait sans cela nécessaire. Cette solution peut également être admise dans le cas d'un grand nombre de lignes constamment connectées au jeu de barres si l'amplitude de ces ondes est assez réduite de ce fait.

SECTION SIX — DISTANCES A TRAVERS UN INTERVALLE D'AIR ¹ ENTRE PIÈCES CONDUCTRICES SOUS TENSION ET MASSE, EN VUE D'OBTENIR UNE TENSION DE TENUE AU CHOC A SEC SPÉCIFIÉE

6 1 Dans les installations qui, pour diverses raisons, ne peuvent pas être essayées au choc, il est utile de prendre des mesures pour éviter que des contournements ne se produisent au-dessous du niveau de tenue au choc qui serait prescrit en cas d'essai.

La condition à réaliser est que la tension de tenue dans l'air entre les pièces sous tension et la masse, définie pour tout isolement externe par l'essai qui ne donne aucun amorçage pour 5 chocs ou, si l'un de ces chocs amorce, qui donne un amorçage au plus pour 15 chocs, soit au moins égale à la tension qui doit être tenue au choc, comme il est indiqué dans la Publication 71, et cela pour la polarité de choc qui donne la tension d'amorçage la moins élevée. Il en résulte une certaine distance minimale à observer, fonction de la configuration des pièces sous tension et de leur voisinage des masses voisines.

6 2 Il n'est indiqué aucune distance pour les matériels pour lesquels il est prévu dans leur spécification un essai de choc, car la fixation de telles distances pourrait gêner la conception du matériel, accroître son coût, arrêter le progrès. L'essai de choc, même s'il ne s'agit que d'un essai de type, suffit à justifier que la condition de tenue est observée.

Pour le cas de conditions spéciales, voir le paragraphe 6 3, note 3.

6 3 Il est possible d'indiquer, sous quelques réserves précisées ci-dessous, un tableau donnant en première approximation la distance à respecter en fonction du niveau de choc. Ce tableau est donné ci-après en le complétant, pour la commodité, par une première colonne donnant la référence aux valeurs de la tension

¹ Ces indications se rapportent à une simple distance dans l'air sans considérer les amorçages en surface le long d'une ligne de fuite, liés au problème de la pollution.

- c) The gap operation produces a chopped wave which, if near to apparatus with windings, may impose additional stresses on the line side of the winding and on the other windings by transferred surges
- d) A consecutive fault may result from gap sparking over on interrupting inductive currents (transformers on no-load or supplying an inductance) or capacitive currents (lines on no-load or capacitor banks), when the protective gap is placed on the side of the circuit to be separated, that is, on the line side in case of switching-out an unloaded line, or transformer side in case of disconnecting an unloaded transformer, in cases where the combination of circuit-breaker and circuit layout can give rise to high switching overvoltages. This results from the fact that if the gap flashes over on the above-considered side as the result of a switching surge, a restrike may occur in the circuit-breaker, the circuit-breaker which was interrupting a small current and had its contacts already far apart must then face a dead short-circuit current. If it has not been designed to withstand this type of occurrence, it may be damaged.

5.6 Fourth case: No protective device is used against overvoltages

In the absence of any special protective device, the impulse overvoltage due to lightning is only limited by sparkover at the weakest points which the impulse wave meets during its propagation. If not properly localized, such sparkovers may cause destructive effects, and such a limitation is not precise because of the oscillations of voltage and possible reflections resulting from the distance between the sparkover location and the apparatus to be protected.

However, such a solution (no protective device) may be acceptable in practice in regions of low lightning severity (isokeraunic level of the order of 5) and when in addition internal overvoltages are low, possibly with the adoption of a higher insulation withstand level of the apparatus than would otherwise be required. In the case of a station with a number of lines normally connected to the busbars, this may also sufficiently reduce the amplitude of the impulse waves.

SECTION SIX — CLEARANCES IN AIR¹ BETWEEN LIVE CONDUCTIVE PARTS AND EARTHED STRUCTURES TO OBTAIN A SPECIFIED IMPULSE WITHSTAND VOLTAGE FOR DRY CONDITIONS

6.1 In installations which, for various reasons, cannot be impulse tested, it is advisable to take steps to avoid flashovers occurring below the impulse withstand level which would have been prescribed in the case of a test.

The condition to be fulfilled is that the withstand voltage in air between live parts and earth should be at least equal to the impulse withstand voltage as specified in Publication 71. This is defined for external insulation by the test which gives no sparkovers for 5 impulses or, in case of one sparkover, which gives at the most one sparkover for 15 applications and this for the impulse polarity which gives the lower sparkover voltage. This results in a minimum clearance to be observed, which depends on the configuration of the live parts and the nearby structures.

6.2 No distance is indicated for an equipment which has an impulse test included in its specification, since compulsory clearances might hamper the design of the equipment, increase its cost, and impede progress. The impulse test, even when only a type test, is sufficient to prove that the impulse withstand condition is fulfilled.

For special conditions see Sub-clause 6.3, Note 3.

6.3 It is possible to give, subject to the restrictions indicated below, a table suitable for general application, giving as a first approximation a clearance to be specified in relation to the impulse withstand level. This table is given below, it has been completed for easy use, by making reference in the first

¹ These indications refer to a simple distance through an air interval, without consideration of surface sparkover voltage along a leakage path, related to the contamination problem.

la plus élevée des réseaux. La distance a été obtenue sur la base d'essais, en prenant dans la gamme inférieure des tensions la disposition tige sous tension en regard d'un plan à la terre, et dans la gamme supérieure des tensions, la disposition tige sous tension tige à la terre. Ces valeurs répondent aux cas généralement rencontrés.

Une légère majoration des distances a été apportée dans la gamme des tensions les plus basses, certaines dispositions utilisées dans la pratique accroissant la concentration du champ et se comportant de façon plus défavorable que la disposition tige - plan à la terre.

Tension la plus élevée du réseau U_m (kV)	Niveau de tenue au choc (kV)	Distance à respecter à la masse (cm)
3,6	45	6
7,2	60	9
12	75	12
17,5	95	16
24	125	22
36	170	32
52	250	48
72,5	325	63
100	380	75
100-123	450	92
123-145	550	115
145-170	650	138
170	750	162
245	825	180
245	900	196
245-300	1 050	230
300	1 175	
300	1 300	
420	1 425	305

Notes 1 — Les valeurs de ce tableau se rapportent à une altitude inférieure à 1 000 m et tiennent compte des conditions les plus défavorables pouvant résulter des variations de pression atmosphérique, de la température et de l'humidité.

Au delà de 1 000 m d'altitude, et jusqu'à 3 000 m, les distances doivent être majorées de 1,25 % par 100 m.

2 — On peut être conduit dans la pratique à majorer les distances par rapport à celles indiquées ci-dessus, pour les raisons suivantes:

- a) dans le cas des installations extérieures soumises à la pluie, au-dessous de 36 kV;
- b) lorsque les configurations des pièces en regard sont exceptionnellement défavorables. Il conviendra alors de vérifier la distance par un essai direct de la partie intéressée.

3 — Un accroissement approprié des distances peut être justifié:

- a) lorsqu'il est essentiel, pour la continuité du service, d'éviter tout amorçage (jeux de barres, etc.);
- b) lorsque ces majorations sont jugées nécessaires pour des raisons de sécurité qui n'ont rien à voir avec les surtensions, telles que l'intrusion de corps étrangers (oiseaux, rats, etc.) ou les risques de contact avec les personnes.

Tout accroissement de ce genre, qui peut être jugé nécessaire pour un appareil soumis à un essai de choc, devrait être spécifié au constructeur par l'usage.

6.4 — Les distances entre phases, ou entre parties de l'installation séparées par des sectionneurs ouverts, sont souvent choisies plus grandes que les distances à la masse.

En particulier, un accroissement du niveau d'isolement d'environ 15 % au-dessus du niveau de tenue spécifié par rapport à la terre est prescrit dans la Publication 129 de la C E I pour les sectionneurs à haute tension, entre bornes de chaque pôle en situation d'ouverture. Un accroissement de distance correspondant peut être utilisé pour les distances entre phases dans les jeux de barres et les connexions, ou entre connexions qui peuvent être situées de part et d'autre d'un sectionneur ouvert.

Note — La section six ci-dessus est donnée à titre de première indication; les distances pourront devoir être revues, notamment dans le cas des niveaux d'isolation plus réduits, pour tenir compte des surtensions de manœuvre, tant à la masse qu'entre phases.

column to the values of the system highest voltage. The table has been derived from actual test values, taking in the lower range of voltage the arrangement of an energized rod facing an earthed plane and in the upper range the rod-earthed rod arrangement, this meets the cases generally encountered.

A slight increase of the distance is required in the lower voltage range, because some of the arrangements met with in practice result in an increased field concentration and give a more unfavourable performance than the rod-earthed plane arrangement.

Highest system voltage U_m (kV)	Impulse withstand level (kV)	Clearance distance to ground (cm)
3.6	45	6
7.2	60	9
12	75	12
17.5	95	16
24	125	22
36	170	32
52	250	48
72.5	325	63
100	380	75
100-123	450	92
123-145	550	115
145-170	650	138
170	750	162
245	825	180
245	900	196
245-300	1 050	230
300	1 175	
300	1 300	
420	1 425	305

Notes 1 — The values of this table refer to an altitude lower than 1 000 m and take into account the most unfavourable conditions which may result from atmospheric pressure variations, temperature and moisture.

Above 1 000 m and up to 3 000 m, clearances should be increased by 1.25 % per 100 m.

2 — It may be good practice in some cases to increase the clearances above those indicated:

- a) in the case of outdoor installations subjected to rain, below 36 kV;
- b) when the configurations of live and earthed parts are exceptionally unfavourable. It may be desirable in this case to check the distance by a direct impulse test on a model structure incorporating the elements involved.

3 — An appropriate increase in clearances may be required:

- a) when it is essential for service continuity to avoid any flashover (busbar, etc.);
- b) when such increases are deemed necessary for safety reasons which have nothing to do with overvoltages, such as vermin (birds, rats, etc.) or risks of contact with persons.

Any such increase which may be required on apparatus subject to impulse tests should be specified to the manufacturer by the user.

6.4 The distances between phases and parts of the installations separated by open isolating switches, are generally made larger than the distances to earth.

An increase of the insulation level of about 15 % above the specified withstand level to earth is prescribed in IEC Publication 129 for high-voltage isolating switches, between the terminals of each pole in the open condition, a corresponding increase of distance may be applied for distances between phases for busbars, and connections, or between connections which may be located on opposite sides of an open disconnecting switch.

Note — Section Six above is given as a first indication; the distances may have to be reconsidered, e.g. in the case of the more reduced insulation levels, in order to take account of switching surges, both to earth and phase-to-phase.

ANNEXE A

EMPLOI DES ÉCLATEURS COMME DISPOSITIF DE PROTECTION

1 Constitution des éclateurs

L'éclateur est un dispositif de limitation des surtensions qui est constitué par une distance d'amoçage à l'air libre entre une électrode sous tension et une électrode à la terre. Pratiquement on emploie comme électrodes des tiges de diverses formes et de section appropriée.

2 Diverses sortes d'éclateurs et divers emplois des éclateurs

a) *Eclateur de protection*

Un éclateur peut être utilisé comme dispositif normal de protection du poste, ce qui peut être admis dans certaines régions de sévérité orageuse modérée et lorsque le niveau des surtensions de coupure est relativement réduit. On utilisera de préférence dans ce but un éclateur séparé installé à quelque distance de tout objet que l'arc d'amoçage puisse risquer d'endommager, parfois l'éclateur est directement supporté par une borne de traversée d'un appareil, et on doit alors l'enlever pour l'essai diélectrique de l'appareil.

L'écartement entre électrodes des éclateurs de protection est choisi de manière à obtenir la marge nécessaire entre niveau de tenue et de protection.

b) *Eclateur destiné à matérialiser le niveau de choc d'une isolation externe*

Un éclateur peut être utilisé, non pas pour la protection, mais dans le cas où des isolateurs surdimensionnés, et par suite de niveau de contournement élevé, sont nécessaires pour résister à la pollution. Un éclateur de ce genre peut être incorporé dans un appareil ayant une isolation interne dans l'intention d'assurer que tout amoçage se produira à l'extérieur plutôt qu'à l'intérieur ou par perforation. Un tel éclateur a pour rôle de ramener l'isolement externe d'un appareil peu au-dessus du niveau de tenue normal en onde pleine. On pourra donc généralement garder cet éclateur lors des essais diélectriques.

Un tel éclateur ne dispense pas d'un dispositif de protection.

c) *Eclateur incorporé de localisation d'arc*

Le constructeur d'un matériel incorpore parfois un dispositif de répartition de champ électrique pour assurer le contrôle des effluves, qui peut également jouer le rôle d'éclateur, ou bien encore, un éclateur pour écarter les arcs des matériaux isolants et les empêcher de se fixer sur les parties vulnérables.

Des éclateurs de ce genre, convenablement réglés, peuvent également être utilisés comme en b) ci-dessus.

Lorsqu'il est utilisé pour assurer la répartition du champ électrique, l'éclateur doit être maintenu pour les essais au choc. Dans les autres cas, son maintien ou sa suppression lors des essais de choc fera l'objet d'un accord entre les parties.

3 Tension d'amoçage d'un éclateur

La tension d'amoçage d'un éclateur dépend essentiellement de la distance entre tiges. Elle est influencée par la forme des électrodes et aussi leur disposition par rapport aux pièces sous tension et aux masses voisines.

Le comportement de l'éclateur au choc est caractérisé, comme valeur de référence, par sa tension 100 % d'amoçage en onde 1/50 pour la polarité qui donne la tension d'amoçage la plus élevée (en général c'est la polarité négative). On désignera cette valeur de tension de choc par U_i .

APPENDIX A

USE OF SPARK-GAPS AS A PROTECTIVE DEVICE

1 Construction

The spark-gap is a surge protective device which consists of a discharge distance in the open air between an energized electrode and the earth electrode. In practice, the electrodes of spark-gaps used for protection of the apparatus in the systems are rods of different shapes and adequate cross-section.

2 Various types and uses of gaps

a) Protective gap

A gap can be used in a system as the normal protective device of the station, this being acceptable in some regions of low lightning severity and a relatively low value of switching surges. In such cases a separate protective gap, installed at some distance from any apparatus which might be damaged by the arc, is generally preferred, sometimes the gap is directly supported by a bushing of the apparatus to be protected and must then be taken off during the dielectric test of the apparatus.

The distance between the rods of the gap is adjusted so as to obtain the required margin of protection between the withstand and the protective level.

b) Gap used for establishing an impulse level of an external insulation

A gap can be used not primarily for protection, but for such cases as when insulators of large dimensions and correspondingly high flashover are necessary to resist atmospheric pollution. A gap of this kind may be incorporated in any apparatus having internal insulation with the intention of ensuring that any breakdown will occur by external flashover rather than by internal flashover or puncture. Such a gap will reduce the external insulation of the apparatus to a figure slightly above the full-wave withstand level and can generally be retained for the dielectric tests.

The provision of such a gap does not, however, eliminate the need for a protective device.

c) Incorporated gap for arc localization

The manufacturer of an apparatus may include a device for controlling the distribution of the electric field with regard to corona, which may also operate as a spark-gap, or also a spark-gap for ensuring that arcs are directed away from the insulation and will not root on vulnerable parts.

Such gaps suitably adjusted may also be used for the purpose outlined in *b)* above.

If provided for stress control, the gap should be retained for the dielectric impulse test. In the other cases, its retention or removal during impulse tests will be subject to mutual agreement.

3 Sparkover voltage of a spark-gap

The sparkover voltage of the gap depends essentially on the distance between the electrodes, it is influenced by the shape of the electrodes and also by their disposition and distance relative to the neighbouring live and earthed parts.

The performance of the gap under impulse conditions is characterized, as a reference value, by the 100% sparkover voltage, for a 1/50 wave of the polarity which gives the highest sparkover voltage. Usually it is the negative polarity. This impulse voltage will be referred to as U_i .

La tension d'amorçage 100 % n'est pas une valeur très exactement définie car l'éclateur a une importante dispersion inhérente, même pour un éclateur donné dans une situation donnée, cette tension est de plus affectée par diverses conditions de proximité

Le comportement de l'éclateur à fréquence industrielle est caractérisé par sa tension d'amorçage à sec à fréquence industrielle qui sera désignée par U_a

Comportement aux surtensions de manœuvre La valeur de la tension d'amorçage pour ces surtensions est intermédiaire entre la tension d'amorçage à fréquence industrielle U_a et la tension 100 % d'amorçage au choc U_i

Ces deux tensions d'amorçage peuvent être vérifiées par des essais

4 Protection au choc assurée par un éclateur

Du fait

- a) de l'accroissement de la tension d'amorçage avec la raideur du front de l'onde quand l'amorçage a lieu sur le front,
- b) de la dispersion des tensions d'amorçage,
- c) de l'influence de la configuration de l'éclateur,

la tension d'amorçage U_i ne caractérise pas un niveau de protection aussi bien défini que celui du para-foudre à résistance variable, la précision de la protection obtenue est donc moindre

En cas de protection par éclateur des isolations utilisées pour les enroulements haute tension (isolations solides, isolation au papier dans l'huile), on peut être conduit du fait de l'onde coupée résultant du fonctionnement de l'éclateur à spécifier un essai d'onde coupée pour le matériel à protéger. Cependant, si l'on peut ajuster l'éclateur à une valeur suffisamment réduite, un essai d'onde coupée peut ne pas être nécessaire

5 Caractéristiques des éclateurs de protection

Les conditions de fonctionnement d'un éclateur de protection sont influencées par

- La distance d'amorçage d ,
- la forme des électrodes et leur effet de polarité (on recherchera une forme telle que la dépendance de la polarité du choc soit aussi faible que possible),
- le métal des électrodes,
- leur situation par rapport à leur support et aux surfaces voisines conductrices et isolantes,
- la proximité des masses voisines,
- le nombre de fonctionnements admissibles sans modification sensible des caractéristiques de protection de l'éclateur, compte tenu du courant écoulé par l'arc et de sa durée

Ces éléments déterminent les caractéristiques d'amorçage telles que

- la tension d'amorçage 100 % au choc U_i ,
- la tension d'amorçage à fréquence industrielle U_a

6 Distance minimale entre l'arc de décharge de l'éclateur et la surface de l'isolateur-support

La distance entre l'arc de décharge entre électrodes d'un éclateur et la surface de l'isolateur qui supporte l'électrode sous tension, dans le cas où cette surface est voisine de l'arc de décharge, doit être suffisante: pour éviter la détérioration de cette surface par des projections de métal ou par les effets de la chaleur de l'arc, pour conserver une caractéristique correcte sous pluie, et pour empêcher que la caractéristique de tension d'amorçage à fréquence industrielle en fonction de d ne tende à plafonner pour les

The 100% sparkover value is not a very definite value, as the gap has considerable inherent dispersion, even for a given rod gap in a given situation; it is also affected by different proximity conditions

The performance of the gap at power frequency is characterized by its dry sparkover voltage at power frequency, designated by U_a

Performance for switching surges The value of the sparkover voltage for switching surges is intermediate between the values of the power-frequency sparkover voltage U_a and the 100% impulse sparkover voltage U_i

These two values can be checked by tests

4 Impulse protection given by a gap

Because of

- a) the increase in the sparkover voltage with increasing steepness of the wave when sparkover takes place on the wave front,
- b) the dispersion in the sparkover voltage,
- c) the influence of the configuration of the gap,

the sparkover voltage U_i does not characterize a protective level as definitely as the protective level of the non-linear lightning arrester; the protection obtained is less precise

In the case of protection with a spark-gap of the insulation used for high-voltage windings (solid insulation, oil-immersed paper insulation), it may be appropriate, because of the chopped wave resulting from the operation of the gap, to specify a chopped wave test for the equipment to be protected. However, if the gap can be set sufficiently low, a chopped wave test may not be necessary

5 Characteristics of protective gaps

The conditions of operation of a protective gap are affected by:

- arcing distance d ,
- shape of the electrodes and their polarity effect (a shape should be aimed at such that the influence of polarity should be as small as possible),
- material of the electrodes,
- situation of the electrodes with respect to their support and the neighbouring conductive and insulating surfaces,
- proximity of earthed parts,
- acceptable number of operations of the gap without significant modification of the protective characteristics of the gap, taking into account the current discharged and its duration

These elements determine the sparkover characteristics, namely:

- 100% impulse sparkover voltage U_i ,
- power-frequency dry sparkover voltage U_a

6 Minimum clearance between the arc and the surface of the insulator supporting the gap

The clearance between the arc and the surface of the insulator, when that surface is near the arc, should be sufficient to avoid a deterioration of that surface by molten metal and by the effects of the heat of the arc, to preserve a correct characteristic under rain, and also to prevent the characteristic curve of the sparkover voltage at power frequency as a function of d from dropping down for the larger values of d