

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 99-1A

Première édition — First edition

1965

Complément à la Publication 99-1 (1958)

Recommandations pour les parafoudres

Première partie: Parafoudres à résistance variable

Supplement to Publication 99-1 (1958)

Recommendations for lightning arresters

Part 1: Non-linear resistor-type arresters



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe
Genève, Suisse

Withdrawn

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 99-1A

Première édition — First edition

1965

Complément à la Publication 99-1 (1958)

Recommandations pour les parafoudres

Première partie: Parafoudres à résistance variable

Supplement to Publication 99-1 (1958)

Recommendations for lightning arresters

Part 1: Non-linear resistor-type arresters



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
Articles	
1. Objet	6
2. Généralités sur l'utilisation des parafoudres	6
3. Marche à suivre pour la protection des transformateurs de puissance et du matériel des installations électriques	8
3.1 Déterminer la tension maximale entre phase et terre à la fréquence de service à l'emplacement du parafoudre	8
3.2 Evaluer l'amplitude et la forme d'onde du courant de décharge à travers le parafoudre	10
3.3 Déterminer la tenue aux ondes de choc de l'installation à protéger	12
3.4 Choisir provisoirement le parafoudre	14
3.5 Déterminer le niveau de protection aux ondes de choc du parafoudre choisi provisoirement	18
3.6 Coordonner le niveau de protection du parafoudre avec le niveau de tenue aux ondes de choc de l'isolation à protéger	18
4. Protection des autres matériels	30
4.1 Protection des enroulements série des matériels tels que transformateurs survolteurs-dévolteurs, réactances, transformateurs de courant, etc.	30
4.2 Protection du matériel à isolation solide	30
5. Surtensions de manœuvre susceptibles d'entraîner le fonctionnement du parafoudre	32
5.1 Classification d'après la cause des surtensions de manœuvre	32
5.2 Classification des types de décharge à travers le parafoudre	34
6. Définitions nouvelles	36
6.1 Niveau de protection aux ondes de choc d'un parafoudre	36
6.2 Niveau de protection nominal aux ondes de choc d'un parafoudre	36
6.3 Rapport de protection	36

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
1. Object	7
2. General procedure in applying lightning arresters	7
3. Step-by-step procedure for protection of power transformers and station equipment	9
3.1 Determine the maximum phase-to-earth power-frequency voltage at the arrester location	9
3.2 Estimate the magnitude and wave-shape of arrester discharge current	11
3.3 Determine the withstand strength of the insulation to be protected	13
3.4 Tentatively select arresters	15
3.5 Determine the impulse protective level for the tentatively selected arrester	19
3.6 Co-ordinate the arrester protective level with the impulse withstand strength of the insulation to be protected	19
4. Protection of other equipment	31
4.1 Protection of series windings of equipment such as booster transformers, reactors, current transformers and so forth	31
4.2 Protection of dry-type insulated equipment	31
5. Switching surges liable to cause operation of the arrester	33
5.1 Classification by cause of switching surges	33
5.2 Classification by type of discharge through arrester	35
6. New definitions	37
6.1 Impulse protective level of an arrester	37
6.2 Rated impulse protective level of an arrester	37
6.3 Protective ratio	37

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

COMPLÈMENT A LA PUBLICATION 99-1 (1958)

RECOMMANDATIONS POUR LES PARAFOUDRES

Première partie: Parafoudres à résistance variable

Guide d'application des parafoudres à résistance variable utilisés sur les
réseaux à courant alternatif

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 recommandation a été établie par le Comité d'Etudes N° 37 de la C E I: Parafoudres.

Elle constitue le premier complément à la Publication 99-1 de la C E I: Recommandations pour les parafoudres; première partie: Parafoudres à résistance variable.

Elle contient le texte de l'Annexe C: Guide d'application des parafoudres du type à résistance non linéaire utilisés sur les réseaux à courant alternatif.

Un projet fut élaboré par un Comité d'experts et discuté lors des réunions tenues à Interlaken en 1961 et à Bucarest en 1962. A la suite de cette dernière réunion, un projet fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en décembre 1962.

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

Allemagne
Australie
Belgique
Canada
Danemark
Etats-Unis d'Amérique
Finlande
France
Hongrie
Japon

Norvège
Pays-Bas
Royaume-Uni
Suède
Suisse
Tchécoslovaquie
Turquie
Union des Républiques
Socialistes Soviétiques

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SUPPLEMENT TO PUBLICATION 99-1 (1958)

RECOMMENDATIONS FOR LIGHTNING ARRESTERS

Part 1: Non-linear resistor-type arresters

Application guide of non-linear resistor-type lightning arresters for alternating current systems

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 Recommendation was prepared by I E C Technical Committee No. 37, Lightning Arresters.

It forms the first supplement to I E C Publication 99-1, Recommendations for Lightning Arresters; Part 1, Non-linear Resistor-type Arresters.

It gives the text of Appendix C, Application guide of non-linear resistor-type lightning arresters for alternating current systems.

A draft was prepared by a Committee of Experts and was discussed at the meetings held in Interlaken in 1961 and in Bucharest in 1962. As a result of this latter meeting, a draft was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in December 1962.

The following countries voted explicitly in favour of publication of this Supplement:

Australia	Netherlands
Belgium	Norway
Canada	Sweden
Czechoslovakia	Switzerland
Denmark	Turkey
Finland	Union of Soviet
France	Socialist Republics
Germany	United Kingdom
Hungary	United States of America
Japan	

COMPLÉMENT A LA PUBLICATION 99-1 (1958)

RECOMMANDATIONS POUR LES PARAFOUDRES

Première partie: Parafoudres à résistance variable

Guide d'application des parafoudres à résistance variable utilisés sur les réseaux à courant alternatif

1. Objet

Le présent guide concerne l'application des parafoudres à résistance variable à la protection des appareils contre les risques des tensions anormales de diverses natures. De telles surtensions peuvent provoquer des amorçages et causer de sérieux dommages au matériel et compromettre ainsi la fourniture d'énergie aux consommateurs. Il importe d'éliminer ces risques par une coordination appropriée des dispositifs de protection et de la rigidité diélectrique de l'isolation.

Il s'agit là d'un sujet étendu, comportant de nombreuses ramifications et il faudrait un gros volume pour contenir les explications détaillées de tous les cas possibles. Il n'est pas proposé de traiter ce sujet de cette manière dans le présent guide, mais de discuter les cas les plus essentiels et de fournir le moyen d'avancer pas à pas dans la recherche de solutions convenables et économiques. Dans quelques cas, l'expérience ou les techniques préexistantes fournissent suffisamment de renseignements pour franchir certains de ces pas sans autre examen. Les cas plus complexes rencontrés dans des installations importantes auxquelles sont reliés un grand nombre de lignes ou de câbles, méritent sans aucun doute une étude spéciale par des ingénieurs expérimentés.

Dans l'état actuel de l'art, une protection totale contre les dommages résultant des surtensions peut se révéler extrêmement coûteuse, et son emploi peut ne pas être de bonne pratique, du point de vue de l'art de l'ingénieur. On recommande des manières de procéder dont on attend des solutions sûres pouvant être économiquement justifiées. Ces manières de procéder reposent sur des études théoriques, des résultats d'essais et l'expérience.

On obtiendra des renseignements complémentaires en se reportant à la Publication 71A de la C.E.I.: Recommandations pour la coordination de l'isolement -- Guide d'application.

2. Généralités sur l'utilisation des parafoudres

Ce guide présuppose que les bornes de terre du parafoudre sont reliées aux parties mises à la terre du matériel, et de plus que les connexions qui relient le parafoudre à la ligne et à la terre sont aussi courtes que possible.

La marche à suivre pour déterminer le choix et l'emplacement des parafoudres, en relation avec l'isolation à protéger, peut être réduite à une série d'opérations qui sont décrites dans les paragraphes ci-dessous:

- a) déterminer la tension maximale entre phase et terre à la fréquence de service à l'emplacement du parafoudre;
- b) évaluer l'amplitude et la forme d'onde du courant de décharge le plus sévère à travers le parafoudre;
- c) déterminer la tenue aux ondes de choc de l'isolation à protéger, en tenant compte de la décroissance de l'isolation de l'air avec l'augmentation de l'altitude;

SUPPLEMENT TO PUBLICATION 99-1 (1958)
RECOMMENDATIONS FOR LIGHTNING ARRESTERS
Part 1: Non-linear resistor-type arresters

Application guide of non-linear resistor-type lightning arresters for alternating current systems

1. Object

This guide covers the application of non-linear resistor-type lightning arresters to safeguard apparatus against the hazards of abnormal voltages of various kinds. Such overvoltages may cause flashovers and serious damage to equipment and thereby jeopardize the supply of power to users. It is essential to prevent this by the proper co-ordination of protective devices with insulation strength.

The subject is a broad one with many ramifications and it would require a volume of considerable bulk to explain all possible cases in detail. It is not proposed to do this in this guide, but the more basic cases are discussed and step-by-step direction toward proper and economical solutions are provided. In some cases, experience or predetermined practices give sufficient information for some of these steps to be performed without further consideration. The more complex cases of some installations, to which a number of lines or cables are connected, no doubt merit special study by experienced engineers.

In the present state of the art, complete protection against damage from overvoltage may prove to be extremely costly and it may not be good engineering practice to provide it. Procedures are recommended which are expected to provide conservative solutions that can be justified economically. These procedures are based on theoretical studies, the results of tests, and experience.

For supplementary information see IEC Publication 71A, Recommendations for Insulation Coordination – Application Guide.

2. General procedure in applying lightning arresters

This guide presumes that lightning arrester earth terminals are interconnected with earthed parts of equipment, also that both line and earth connections of the arrester are as short as is practicable.

The procedure for the selection and location of arresters in relation to the insulation to be protected can be reduced to a series of steps, which are elaborated in subsequent paragraphs:

- a) determine the maximum phase-to-earth power-frequency voltage at the arrester location;
- b) estimate the magnitude and wave-shape of the most severe arrester discharge current;
- c) determine the impulse withstand strength of the insulation to be protected, bearing in mind that air insulation decreases with increasing altitude;

- d) choisir provisoirement la tension nominale et la classe du parafoudre;
- e) déterminer le niveau de protection aux ondes de choc;
- f) placer le parafoudre aussi près que possible de l'appareil à protéger sans perdre de vue que la proximité d'objets mis à la terre et la hauteur du parafoudre, au-dessus du sol peuvent avoir une influence défavorable sur les caractéristiques d'amorçage du parafoudre, notamment aux très hautes tensions;
- g) déterminer la tension sur l'isolation à protéger, telle qu'elle sera limitée par le parafoudre, en tenant compte de la distance qui les sépare et des autres facteurs propres au point d'utilisation;
- h) si les opérations c) ou g) indiquent que le parafoudre choisi ne convient pas, il peut être nécessaire de choisir un parafoudre ayant d'autres caractéristiques nominales ou appartenant à une autre classe, ou bien s'il s'agit d'équiper un poste entièrement nouveau, d'augmenter le niveau d'isolement du matériel à protéger.

3. Marche à suivre pour la protection des transformateurs de puissance et du matériel des installations électriques.

(Pour le cas spécial des transformateurs de puissance de type sec, voir paragraphe 4.2.1.)

3.1 Déterminer la tension maximale entre phase et terre à la fréquence de service à l'emplacement du parafoudre

3.1.1 En multipliant la tension la plus élevée du réseau par le coefficient de mise à la terre à l'endroit du réseau où est installé le parafoudre (article 17 de la Publication 99-1). La valeur du coefficient de mise à la terre peut être estimée d'après les courbes de la figure 1. L'expérience montre qu'en ce qui concerne l'utilisation des parafoudres, les coefficients de mise à la terre peuvent être classés en un nombre limité de groupes.

- a) *Le coefficient de mise à la terre n'excède pas 80% (réseau effectivement mis à la terre)*
Une valeur ne dépassant pas 80% est obtenue à l'emplacement du parafoudre lorsque, pour toutes les conditions du réseau, le rapport de la réactance homopolaire à la réactance directe (X_0/X_1) est compris entre 0 et +3, et le rapport de la résistance homopolaire à la réactance directe (R_0/X_1) est compris entre 0 et +1. En cet endroit, le réseau est considéré comme étant effectivement à la terre.

Notes 1. — Sur certains réseaux de distribution à 4 conducteurs où les neutres des transformateurs et les conducteurs neutres sont mis à la terre en de nombreux points le long du circuit, le coefficient de mise à la terre peut être inférieur à 80%.

2. — Sur de nombreux réseaux de transport d'énergie à haute tension, le coefficient de mise à la terre ne dépasse pas 75% et peut même descendre à 70% aux très hautes tensions.

3. — La possibilité d'une augmentation du coefficient de mise à la terre résultant du sectionnement du réseau doit être envisagée comme l'un des facteurs à considérer.

- b) *Le coefficient de mise à la terre excède 80% (réseaux dont le neutre n'est pas mis effectivement à la terre et réseaux à neutre mis à la terre ou isolé où apparaissent des conditions de résonance).*

Ce cas peut être celui des réseaux dont le neutre est mis à la terre par l'intermédiaire de résistances ou de réactances, y compris les bobines d'extinction des défauts à la terre, ou encore dont certains points neutres, ou tous ceux-ci sont isolés de la terre. Dans de tels réseaux, le coefficient de mise à la terre à l'endroit où est installé le parafoudre peut atteindre 100% et même davantage si le rapport X_0/X_1 est négatif.

Note. — Si le rapport X_0/X_1 varie entre 0 et -20, les conditions de résonance peuvent se trouver remplies. Dans le cas des réseaux à neutre isolé, le rapport X_0/X_1 est toutefois généralement inférieur à -20 de sorte qu'il est peu probable que se produisent les conditions de résonance.

- d) tentatively select the arrester voltage rating and class;
- e) determine the impulse protective level for the tentatively selected arresters;
- f) locate the arrester as close as is practical to the apparatus to be protected, bearing in mind that the proximity of earthed objects and the height of the arrester above earth may adversely affect the arrester sparkover characteristics, particularly at very high voltages;
- g) determine the voltage at the insulation to be protected as limited by the arrester, taking into consideration the separation distances and other factors applicable to the point of application;
- h) in the event that steps c) and g) indicate that the arrester selected is inadequate, it may be necessary to choose another arrester rating or class, or in the case when an entirely new station is being designed, to increase the insulation level of the equipment to be protected.

3. Step-by-step procedure for protection of power transformers and station equipment

(For special treatment of dry-type power transformers see Sub-clause 4.2.1).

3.1 Determine the maximum phase-to-earth power-frequency voltage at the arrester location

3.1.1 By multiplying the highest system voltage by the coefficient of earthing at the point of installation of the arrester (Clause 17 in Publication 99-1). The value of the coefficient of earthing can be estimated from the curves in Figure 1. Experience shows that for arrester application the coefficient of earthing can be classified into a limited number of groups.

a) *Coefficient of earthing does not exceed 80% (effectively-earthed system)*

A value not exceeding 80% is obtained at the arrester location when for all system conditions the ratio of zero sequence reactance to positive sequence reactance (X_0/X_1) is between 0 and +3, and the ratio of zero sequence resistance to positive sequence reactance (R_0/X_1) is between 0 and +1. At this point the system is considered to be effectively earthed.

Notes 1. — On certain distribution systems of the 4-wire type where transformer neutrals and neutral conductors are directly earthed at frequent points along the circuit, the coefficient of earthing may be less than 80%.

2. — On many high-voltage transmission systems the coefficient of earthing will not exceed 75% and in some cases may be as low as 70%, particularly on extra high voltage systems.

3. — The possibility of increases in the coefficient of earthing due to system sectionalizing should be recognized as a factor to be considered.

b) *Coefficient of earthing exceeds 80% (non-effectively earthed neutral, resonant earthed or isolated neutral systems)*

This may be the case in systems which are earthed through resistors or reactors, including ground fault neutralizer (arc suppression coils), or which have some or all neutrals isolated from earth. In such systems the coefficient of earthing may be 100% or higher at the point of arrester installation if the ratio X_0/X_1 is negative.

Note. — If X_0/X_1 lies between 0 and -20, resonance conditions may occur. For systems with isolated neutrals, the ratio X_0/X_1 is, however, usually lower than -20 so that resonance conditions are not likely.

3.1.2 En vérifiant l'influence sur la tension maximale entre phase et terre:

- a) des diminutions brusques de la charge;
- b) des survitesses des machines.

3.1.3 En tenant compte des surtensions dues aux effets de résonance, à l'induction des circuits parallèles et à des facteurs analogues connus pour avoir une certaine importance; dans le cas contraire, elles sont en général négligées (voir la discussion sur les tensions anormales dans les réseaux au paragraphe 3.4.2).

3.2 *Evaluer l'amplitude et la forme d'onde du courant de décharge à travers le parafoudre*

Evaluer l'amplitude et la forme d'onde du courant de décharge principalement d'après le degré de protection contre les coups de foudre directs des lignes, centrales, postes et installations de transformation des réseaux de distribution. De telles installations peuvent être divisées en deux classes:

- effectivement protégées, et
- non effectivement protégées.

3.2.1 *Amplitude et forme d'onde du courant de décharge pour les installations ou les jonctions de lignes aériennes effectivement protégées*

Les installations effectivement protégées sont munies d'écrans assurant la protection, contre les coups de foudre directs, du poste et de toutes les lignes qui y sont raccordées. Les lignes peuvent être protégées soit sur toute leur longueur soit sur un petit nombre de portées au départ du poste (protection terminale de ligne). La protection par écran est considérée comme efficace si la probabilité de défauts sur les fils de garde, ou les amorçages en retour des fils de garde ou des charpentes mises à la terre vers les conducteurs ou d'autres parties sous tension, est si faible que le risque est considéré comme acceptable pour l'application particulière dont il s'agit.

L'expérience pratique acquise par certains pays fait apparaître que la protection par écrans n'est pas très efficace pour les lignes à moyenne tension (au-dessous de 100 kV). Ces lignes sont alors considérées comme des installations non effectivement protégées. Pour des tensions plus élevées, une technique efficace de protection utilisée dans certains pays prévoit un angle de protection des fils de terre qui n'excède pas 30° et une résistance de terre pour chaque pylône qui ne dépasse pas 10 ohms. Les courants maximaux de décharge des parafoudres dans ce cas varient habituellement de 4 000 A environ pour une tension de 110 kV aux alentours de 10 000 A pour des sous-stations à 400 kV. On peut obtenir sur les lignes comportant des conducteurs en faisceaux des courants de décharge compris entre 5 000 et 10 000 A. (Ces courants de décharge correspondent à l'onde 8/20 microsecondes utilisée pour les essais des parafoudres).

La mise sous écran (shielding) des parties terminales des lignes à moyenne tension sur poteaux en bois au moyen d'un fil de terre mis à la terre à chaque poteau, mais sans mise à la terre des bras en dehors de la zone de protection, peut ne pas empêcher les amorçages en retour si la résistance de terre aux poteaux est élevée. Toutefois, la mise sous écran dérive le courant de foudre et limite également les surtensions qui arrivent d'au-delà de la mise sous écran. Ces surtensions peuvent être très élevées en raison des poteaux de bois. Bien que ne remplissant pas les conditions pour un poste effectivement sous écran, ce genre de mise sous écran limite l'amplitude du courant de décharge à une valeur inférieure à celle qui est discutée (paragraphe 3.2.2) pour les postes non effectivement protégés par écran; le montant de cette réduction dépend des conditions particulières au lieu d'installation.

3.1.2 By checking the influence on the maximum phase-to-earth voltage of:

- a) sudden loss of load;
- b) the effect of machine overspeeds.

3.1.3 By considering overvoltages caused by resonance effects, induction from parallel circuits and similar factors known to be significant; otherwise they generally are neglected. (See the discussion of abnormal system voltages in Sub-clause 3.4.2).

3.2 *Estimate the magnitude and wave-shape of arrester discharge current*

Estimate the magnitude and wave shape of the discharge current, largely by the degree of shielding against direct lightning strokes to lines, stations, substations and distribution transformer installations. Such installations may be divided into two classes:

- effectively shielded, or
- non-effectively shielded.

3.2.1 *Magnitude and wave-shape of discharge current for effectively-shielded installations or overhead line-cable junctions*

Effectively-shielded installations have shielding against direct strokes provided for the station and for all connected lines. The lines may be shielded either on the whole length or on a few spans from the station (line end protection). Shielding is regarded as effective if the probability of shielding failures or back flashes from shield wires or earthed supporting structures to the conductors or other live parts is so small that the risk is considered acceptable for the specific application.

Practical experience of some countries shows that the shielding is not very effective for medium voltage lines (below 100 kV), and these are treated as non-effectively shielded installations. For higher voltages, effective shielding practice in some countries prescribes that the protective angle of the earth wires should not exceed 30° and that the earthing resistance of each tower should not exceed 10 ohms. The maximum lightning arrester discharge currents in such a case vary usually from about 4 000 A at 110 kV up to about 10 000 A at 400 kV substations. Lines with bundled conductors may attain a discharge current between 5 000 and 10 000 A. (These discharge currents are for the 8/20 microsecond wave used for lightning arrester testing).

Shielding for line end protection on medium voltage lines located on wooden poles with an earth wire which is earthed at each pole, but with no earthing of crossarms outside the protected zone, may not prevent back flashes (back flashovers) if the earth resistance at the poles is high. However, the shielding will tap off the lightning stroke current, and also will limit overvoltages entering from beyond the shielding. Such overvoltages may be very high because of the wood insulation. This shielding, while not fulfilling the requirements for an effectively-shielded station, will limit the magnitude of the discharge current below that discussed in Sub-clause 3.2.2 for non-effectively-shielded stations, the amount depending on the particular conditions at the installation.

Les courants de décharge des parafoudres dans le cas d'installations effectivement protégées dépendent de nombreux facteurs dont les plus importants sont les suivants:

- a) l'étendue de l'installation et la tension du réseau;
- b) la tenue aux ondes de choc de l'isolation des lignes aboutissant au poste; pour les lignes sur pylônes en acier ou en béton, tenir compte de la tenue des isolateurs (ou des éclateurs s'il en est fait usage);

Dans le cas des lignes équipées de poteaux en bois, il faut tenir compte en plus de la tenue du bois aux ondes de choc;

- c) le nombre de lignes raccordées. En raison de la réflexion des ondes mobiles, le courant de décharge des parafoudres est affecté par les impédances d'onde des lignes et des câbles montés en parallèle;
- d) la longueur des parties protégées par écrans des lignes aboutissant au poste. (Cette longueur est à l'étude).

La vitesse d'accroissement du courant de décharge dépend de la vitesse d'accroissement de la tension. On estime que, lorsqu'une onde provenant d'une ligne effectivement protégée pénètre dans l'installation, la vitesse maximale d'accroissement de la tension peut atteindre 500 kV par microseconde.

3.2.2 *Amplitude et forme d'onde du courant de décharge pour les installations ou jonctions de lignes aériennes non effectivement protégées*

Dans les installations ou les jonctions de câbles de lignes aériennes non effectivement protégées au moyen d'écrans, à la fois l'isolation et le parafoudre peuvent être soumis à des coups de foudres directs très rapprochés produisant des tensions et des courants extrêmement élevés, ayant des taux d'accroissement très rapides, de l'ordre de 1 000 kV par microseconde. Des conditions très dures peuvent résulter également d'un amorçage en retour au voisinage du parafoudre. L'expérience montre que, pour la tension incidente probable, un degré de protection satisfaisant est obtenu en coordonnant la tension résiduelle du parafoudre à un courant de décharge compris entre 5 000 et 20 000 A (onde 8/20 microsecondes) suivant:

- a) l'importance de l'installation;
- b) la probabilité d'apparition de courants plus élevés;
- c) l'étendue et la tension de l'installation;
- d) l'isolation de la ligne dans le cas d'emploi de ligne à pleine isolation sur poteaux en bois; il est vraisemblable qu'un parafoudre est soumis dans ce cas à des ondes de courant beaucoup plus élevées qu'un parafoudre relié à une ligne de tension plus élevée dont les bras des poteaux sont mis à la terre, à moins que le coup de foudre ne tombe si près du parafoudre que l'impédance et l'isolation de la ligne ne puissent avoir aucune influence sur la surtension.

Note. — Cette question a trait au nombre de jours par an au cours desquels se produisent des orages dans la localité et à l'importance de ces derniers, à la manière dont est réalisée la mise sous écran de la ligne et de l'équipement terminal, ainsi qu'à la nature du terrain. Lorsque les conditions sont sévères, il est bon de calculer ou de déterminer d'une façon quelconque la vitesse d'accroissement de la tension et l'amplitude du courant de décharge.

3.3 *Déterminer la tenue aux ondes de choc de l'installation à protéger*

Déterminer la tenue aux ondes de choc de l'isolation et, dans certains cas, la tenue aux surtensions de manœuvre de l'isolation du matériel installé.

3.3.1 *Tenue aux ondes de choc de l'isolation autre que l'air du matériel*

La tenue aux ondes de choc du matériel est définie par sa tension d'essai aux ondes de choc en onde pleine (voir le tableau des Niveaux d'isolements normalisés de la Publication 71 de la CEI: Recommandations pour la coordination de l'isolement).