

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC
1024-1-1

Première édition
First edition
1993-08

Protection des structures contre la foudre

Partie 1:

Principes généraux

Section 1: Guide A - Choix des niveaux
de protection pour les installations de protection
contre la foudre

Protection of structures against lightning

Part 1:

General principles

Section 1: Guide A - Selection of protection
levels for lightning protection systems



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 1024-1-1: 1993

Révision de la présente publication

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

Les renseignements relatifs à ce travail de révision, à l'établissement des éditions révisées et aux mises à jour peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et en consultant les documents ci-dessous:

- Bulletin de la CEI
- Annuaire de la CEI
- Catalogue des publications de la CEI
Publié annuellement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la Publication 50 de la CEI: Vocabulaire Electrotechnique International (VEI), qui est établie sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini, l'Index général étant publié séparément. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande.

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

Symboles graphiques et littéraux

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

- la Publication 27 de la CEI: Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique;
- la Publication 617 de la CEI: Symboles graphiques pour schémas.

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit repris des Publications 27 ou 617 de la CEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même Comité d'Etudes

L'attention du lecteur est attirée sur le deuxième feuillet de la couverture, qui énumère les publications de la CEI préparées par le Comité d'Etudes qui a établi la présente publication.

Revision of this publication

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

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

- IEC Bulletin
- IEC Yearbook
- Catalogue of IEC Publications
Published yearly

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC Publication 50: International Electrotechnical Vocabulary (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field, the General Index being published as a separate booklet. Full details of the IEV will be supplied on request.

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

Graphical and letter symbols

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

- IEC Publication 27: Letter symbols to be used in electrical technology;
- IEC Publication 617: Graphical symbols for diagrams.

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

IEC publications prepared by the same Technical Committee

The attention of readers is drawn to the back cover, which lists IEC publications issued by the Technical Committee which has prepared the present publication.

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC
1024-1-1

Première édition
First edition
1993-08

Protection des structures contre la foudre

Partie 1:

Principes généraux

Section 1: Guide A - Choix des niveaux
de protection pour les installations de protection
contre la foudre

Protection of structures against lightning

Part 1:

General principles

Section 1: Guide A - Selection of protection
levels for lightning protection systems

© CEI 1990 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

S

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	6
Articles	
1 Généralités	8
1.1 Domaine d'application et objet	8
1.2 Termes et définitions	8
2 Classification des structures	10
2.1 Structures habituelles	10
2.2 Structures particulières	10
3 Caractéristiques de la foudre	16
3.1 Caractéristiques des courants de foudre utilisées pour dimensionner les installations de protection contre la foudre (IPF)	16
3.2 Densité des coups de foudre au sol	16
4 Choix des niveaux de protection pour les installations de protection contre la foudre (IPF)	18
4.1 Fréquence acceptée des coups de foudre (N_c) sur une structure	18
4.2 Fréquence prévisible (N_d) des coups de foudre directs sur une structure	20
4.3 Procédure de choix des IPF	22
Figures	26
Annexe A – Valeurs fondamentales des caractéristiques du courant de foudre – Fréquence cumulée de distribution	34

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	7
Clause	
1 General	9
1.1 Scope and object	9
1.2 Terms and definitions	9
2 Classification of structures	11
2.1 Common structures	11
2.2 Special structures	11
3 Lightning parameters	17
3.1 Lightning current parameters used for dimensioning Lightning Protection Systems (LPS)	17
3.2 Lightning ground flash density	17
4 Selection of protection levels for Lightning Protection Systems (LPS)	19
4.1 Accepted frequency of lightning flashes (N_c) to a structure	19
4.2 Expected frequency (N_d) of direct lightning flashes to a structure	21
4.3 Procedure for selection of LPS	23
Figures	26
Annex A – Basic values of lightning current parameters – Cumulative frequency distribution	35

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PROTECTION DES STRUCTURES CONTRE LA Foudre

Partie 1: Principes généraux
Section 1: Guide A – Choix des niveaux de protection
pour les installations de protection contre la foudre

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 1024-1-1 a été établie par le comité d'études 81 de la CEI: Protection contre la foudre.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

DIS	Rapport de vote	Amendement au DIS	Rapport de vote
81(BC)14	81(BC)16	81(BC)18	81(BC)20

Les rapports de vote indiqués dans le tableau ci-dessus donnent toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

La CEI 1024 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général: Protection des structures contre la foudre.

- Partie 1: Principes généraux.

L'annexe A fait partie intégrante de cette norme.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

PROTECTION OF STRUCTURES AGAINST LIGHTNING

Part 1: General principles
Section 1: Guide A - Selection of protection levels
for lightning protection systems

FOREWORD

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

International Standard IEC 1024-1-1 has been prepared by IEC technical committee 81: Lightning protection.

The text of this standard is based on the following documents:

DIS	Report on Voting	Amendment to DIS	Report on Voting
81(CO)14	81(CO)16	81(CO)18	81(CO)20

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

IEC 1024 consists of the following parts, under the general title: Protection of structures against lightning.

- Part 1: General principles.

Annex A forms an integral part of this standard.

INTRODUCTION

La première partie, Principes Généraux, de la CEI 1024 relative à la protection des structures contre la foudre établit les définitions fondamentales et les principes généraux de la protection contre la foudre et donne en même temps les informations nécessaires concernant l'étude, la construction et les matériaux destinés à faciliter l'installation fondamentale des installations extérieures et intérieures de protection (IPF) des structures habituelles contre la foudre. La première partie donne également les directives fondamentales d'un bon entretien et d'une bonne pratique d'inspection.

Le Guide A contient des informations concernant l'affectation des niveaux de protection des structures à sauvegarder. Il donne des directives destinées à déterminer le choix des IPF et constitue du point de vue d'une majorité d'experts la meilleure pratique générale, fondée sur les connaissances actuelles.

Cependant il faut garder à l'esprit que, en raison des paramètres concernés, le sujet est si complexe et seule une analyse du risque poussée peut donner une évaluation correcte du niveau de protection requis.

Lorsque la sélection des niveaux de protection pour les structures est basée sur l'évaluation du risque de dégradation dû à la foudre, un rapport technique (future CEI 1024-1-2) assistera les autorités nationales concernées.

Ce guide est à utiliser avec la partie 1, lorsque on considère les aspects particuliers de l'évaluation de la protection, la conception et la construction physique d'une IPF.

INTRODUCTION

The Part 1, General principles, establishes the fundamental definitions and general principles of lightning protection, as well as providing the necessary information concerning design, construction and materials to facilitate the basic installation of external and internal lightning protection systems (LPS) of common structures. The Part 1, also gives the basic requirements for good maintenance and inspection practice.

Guide A contains information on assignment of protection levels to structures to be protected. It gives guide-lines for the selection of LPS and represents the consensus view of many countries' experts as to the best general practice based on the present state of the art.

However it should be kept in mind that the matter is so complicated, due to the involved parameters, that only a thorough risk analysis can give the correct evaluation of the required protection level.

Where the selection of protection levels for structures is based on the assessment of the risk of damage due to lightning, a Technical Report (future IEC 1024-1-2) will assist the national authorities concerned.

This guide is used in conjunction with Part 1, when the particular aspects of protection assessment and physical design and construction of an LPS are considered.

PROTECTION DES STRUCTURES CONTRE LA Foudre

Partie 1: Principes généraux Section 1: Guide A - Choix des niveaux de protection pour les installations de protection contre la foudre

1 Généralités

1.1 *Domaine d'application et objet*

Le présent guide s'applique au choix des niveaux de protection relatifs aux IPF couverts par la CEI 1024-1.

Le présent guide apporte des informations sur la classification des structures selon les effets résultant d'un coup de foudre et sur les procédures de choix d'une IPF de niveau de protection adéquat.

1.2 *Termes et définitions*

Pour les besoins du présent guide, les définitions suivantes s'appliquent:

1.2.1 **courant de foudre (i):** Courant qui s'écoule au point d'impact.

1.2.2 **valeur de crête (I):** Valeur maximum du courant de foudre.

1.2.3 **raideur moyenne du courant de foudre (di/dt):** Quotient de la différence des valeurs de courants de foudre obtenues au début et à la fin de l'intervalle de temps spécifié [$i(t_2) - i(t_1)$] et de l'intervalle de temps spécifié [$t_2 - t_1$].

1.2.4 **durée du coup de foudre (T):** Temps pendant lequel le courant de foudre s'écoule au point d'impact.

1.2.5 **charge totale (Q_{total}):** L'intégrale par rapport au temps du courant de foudre pendant la durée totale du coup de foudre.

1.2.6 **charge impulsionnelle ($Q_{impulse}$):** L'intégrale par rapport au temps du courant de foudre pendant la durée de l'impulsion du coup de foudre.

1.2.7 **énergie spécifique (W/R):** Energie dissipée par le courant de foudre dans une résistance de valeur unité. C'est l'intégrale par rapport au temps du carré du courant de foudre pendant la durée du coup de foudre.

1.2.8 **probabilité de dégradation:** Probabilité avec laquelle un coup de foudre peut causer des dégradations à une structure.

1.2.9 **risque de dégradations:** Pertes annuelles moyennes probables (en personnes et en biens) dues à des coups de foudre sur une structure.

PROTECTION OF STRUCTURES AGAINST LIGHTNING

Part 1: General principles Section 1: Guide A – Selection of protection levels for lightning protection systems

1 General

1.1 Scope and object

This guide is applicable to the selection of protection levels for LPS covered by IEC 1024-1.

It provides information on the classification of structures according to the consequential effects of a lightning stroke and on procedures for selection of an LPS giving an adequate level of protection.

1.2 Terms and definitions

For the purpose of this guide, the following definitions apply:

1.2.1 **lightning current** (i): The current flowing at the point of strike.

1.2.2 **peak value** (I): The maximum value of the lightning current in a flash.

1.2.3 **average steepness of lightning current** (di/dt): The difference between the lightning current values at the start and at the end of a specified time interval [$i(t_2) - i(t_1)$] divided by the specified time interval [$t_2 - t_1$].

1.2.4 **flash duration** (T): Time for which the lightning current flows at the point of strike.

1.2.5 **total charge** (Q_{total}): The time integral of the lightning current for entire lightning flash duration.

1.2.6 **impulse charge** (Q_{impulse}): The time integral of the lightning current for the impulse part of the lightning flash duration.

1.2.7 **specific energy** (W/R): The energy dissipated by the lightning current in a unit resistance. It is the time integral of the square of the lightning current for the duration of the lightning flash.

1.2.8 **probability of damage** (ρ): Probability of a lightning flash causing damage to the structure.

1.2.9 **risk of damage**: Probable average annual losses (humans and goods) in a structure due to lightning flashes.

1.2.10 **fréquence des coups de foudre directs sur une structure (N_d):** Nombre moyen annuel prévisible de coups de foudre directs sur une structure.

1.2.11 **fréquence des dégradations par coups de foudre directs:** Nombre moyen annuel des coups de foudre directs qui engendrent des dégradations dans une structure.

1.2.12 **fréquence acceptée des coups de foudre (N_c):** Valeur maximale acceptée du nombre moyen annuel des coups de foudre qui peut causer des dégradations dans une structure.

1.2.13 **efficacité d'un IPF (E):** Rapport entre le nombre moyen annuel des coups de foudre directs qui ne peuvent causer de dégradations dans la structure et le nombre des coups de foudre directs sur la structure.

2 Classification des structures

La classification des structures peut s'effectuer selon les effets résultant des coups de foudre qui peuvent être dangereux pour les structures, ce qu'elles contiennent ou leurs environnements.

Les effets directs de la foudre qui peuvent présenter des dangers sont les incendies, les dégradations mécaniques, les blessures subies par les personnes et les animaux, et les dégradations d'appareillages électriques et électroniques. Les effets résultant de la foudre peuvent entraîner un effet de panique et, de plus, ils peuvent provoquer le déclenchement d'explosions et l'émission de produits dangereux tels que matériaux radioactifs, agents chimiques, substances toxiques, agents de contamination biochimique: bactéries et virus.

Les effets de la foudre peuvent être particulièrement dangereux pour les systèmes informatiques, les systèmes de contrôle-commande et les alimentations électriques, ce qui entraîne des pertes de données et de production. Il existe des dispositifs électroniques de détection installés dans toutes sortes de structures qui peuvent nécessiter une protection spéciale.

Le tableau 1 donne des exemples de quatre classes de structures de types différents, mais seuls les structures habituelles ont été prises en considération dans la première partie et dans ce guide.

2.1 Structures habituelles

Les structures habituelles sont des structures utilisées à des fins commerciales, industrielles, agricoles, administratives ou résidentielles. Des structures d'une hauteur supérieure à 60 m ne sont pas prises en considération dans la première partie.

2.2 Structures particulières

Des descriptions relatives à quatre types de structures particulières sont données ci-après.

1.2.10 **direct lightning flash frequency to a structure (N_d):** Expected average annual number of direct lightning flashes to the structure.

1.2.11 **frequency of damage by direct lightning flash:** Average annual number of direct lightning flashes which cause damage to the structure.

1.2.12 **accepted lightning flash frequency (N_c):** The maximum accepted average annual frequency of lightning flashes which can cause damage to the structure.

1.2.13 **efficiency of an LPS (E):** The ratio of the average annual number of direct lightning flashes which cannot cause damage to the structure to the direct lightning flash number to the structure.

2 Classification of structures

The classification of structures can be made according to consequential effects of lightning strokes which may be dangerous to structures, their contents or their surroundings.

The direct effects of lightning which may be dangerous, are: fires, mechanical damage, injuries to people and animals, and damage to electric and electronic equipment. The effects of lightning may be responsible for panic and moreover cause explosions, and emissions of dangerous substances such as radioactive materials, chemical agents, toxic substances, biochemical contaminants, bacteria and viruses.

The effects of lightning may be particularly hazardous to computer systems, control systems, regulation systems, and power supplies thereby causing loss of service to the public, loss of data production and business. Sensitive electronic equipment is installed in all types of structures and may require special protection.

Examples of four classifications of different types of structures are given in table 1, but only common structures are considered in Part 1 and in this Guide.

2.1 *Common structures*

Common structures are structures used for ordinary purposes, whether commercial, industrial, farming, institutional or residential. Structures higher than 60 m are not considered in Part 1.

2.2 *Special structures*

Descriptions of four types of special structures are given below.

2.2.1 *Structures à dangers circonscrits*

Structures dont les matériaux de construction, le contenu ou les occupants font que le volume entier de la structure est vulnérable aux effets dangereux de la foudre.

2.2.2 *Structures dangereuses pour leur environnement immédiat*

Structures dont le contenu peut être dangereux pour l'environnement immédiat si elles sont frappées par la foudre.

2.2.3 *Structures dangereuses pour un environnement social et physique*

Structures qui, si elles sont frappées par la foudre, peuvent provoquer des émissions biologiques, chimiques et radioactives.

2.2.4 *Structures diverses*

Structures pour lesquelles on pourrait envisager une IPF de conception particulière.

Comme cas typiques, citons:

- les structures élevées (hauteur supérieure à 60 m);
- les tentes, terrains de camping et terrains de jeux;
- les installations provisoires;
- les structures en construction.

2.2.1 *Structures with confined danger*

Structures whose construction materials, contents or occupants make the whole volume of the structure vulnerable to the consequential effects of lightning.

2.2.2 *Structures dangerous to their surroundings*

Structures whose contents can be dangerous to the surroundings if struck by lightning.

2.2.3 *Structures dangerous to social and physical environments*

Structures which may cause biological, chemical and radioactive emissions as a consequence of being struck by lightning.

2.2.4 *Miscellaneous structures*

Structures for which an LPS of special design might be considered.

Typical cases are as follows:

- tall structures (above 60 m in height);
- tents, camping sites and sports fields;
- temporary installations;
- structures under construction.

Tableau 1 - Exemples de classification des structures

Classification des structures	Types de structures	Effets de la foudre
Structures habituelles (voir note)	Maison d'habitation	Perforation des installations électriques, incendie et dégradations matérielles Dégradations normalement limitées aux objets qui se trouvent au point d'impact de la foudre ou sur la trajectoire de la foudre
	Ferme	Risque primaire d'incendie et sauts de tension dangereux Risque secondaire dû à la perte d'énergie électrique avec risque de mort pour le bétail résultant d'une panne du système de commande électronique des installations de ventilation, d'alimentation en nourriture, etc.
	Théâtre Ecole Grand magasin Zone sportive	Dégradations provoquées aux installations électriques (par ex. éclairage électrique) entraînant probablement un effet de panique Panne des systèmes d'alarme d'incendie entraînant un retard pour réagir
	Banque Cie d'Assurance Sociétés commerciales, etc.	En plus des effets mentionnés ci-dessus, problèmes liés à la perte de communication, à la panne des ordinateurs et à la perte des données
	Hôpital Crèche Prison	En plus des effets mentionnés ci-dessus, problèmes touchant les malades en soins intensifs et difficultés pour porter secours aux personnes immobilisées
	Industrie	Effets supplémentaires dépendant du contenu des usines, allant de la dégradation mineure aux dégâts inacceptables avec perte de production
	Musées et sites archéologiques	Perte d'héritage culturel irremplaçable
Structures à dangers circonscrits	Télécommunications Centrales électriques Industries à risques d'incendie	Perte inacceptable de services au public Risques indirects infligés à l'environnement immédiat à la suite d'un incendie, etc.
Structures dangereuses pour leur environnement immédiat	Raffinerie Station-service Fabrique de feux d'artifice Fabrique de munitions	Conséquences d'incendie et d'explosion pour la fabrique et son environnement immédiat
Structures dangereuses pour l'environnement	Usine chimique Centrale nucléaire Laboratoires et usines biochimiques	Incendie et dysfonctionnement des installations accompagnés de conséquences nuisibles à l'environnement local et global

NOTES

- Des appareillages électroniques de détection pouvant être installés dans toutes les sortes de structures, y compris dans toutes les espèces de structures habituelles, peuvent être endommagés par des surtensions.
- La perte de service est le produit du temps pendant lequel un abonné individuel a été privé de service par le nombre d'usagers concernés en une année.

Table 1 - Examples of structure classification

Classification of structures	Type of structure	Effects of lightning
Common structures (see note)	Dwelling-house	Puncture of electrical installations, fire and material damage Damage normally limited to objects exposed to the point of strike or to the lightning path
	Farm	Primary risk of fire and hazardous step voltages Secondary risk due to loss of electric power, and life hazard to livestock due to failure of electronic control of ventilation and food supply systems, etc
	Theatre School Department store Sports area	Damage to the electrical installations (e.g. electric lighting) likely to cause panic Failure of fire alarms resulting in delayed fire fighting measures
	Bank Insurance Company Commercial company, etc.	As above, plus problems resulting from loss of communication, failure of computers and loss of data
	Hospital Nursing home Prison	As above, plus problems of people in intensive care, and the difficulties of rescuing immobile people.
	Industry	Additional effects depending on the contents of factories, ranging from minor to unacceptable damage and loss of production
	Museums and archaeological sites	Loss of irreplaceable cultural heritage
Structures with confined danger	Telecommunications Power plants Industries with fire hazards	Unacceptable loss of services to the public Consequential hazards to the immediate surroundings caused by fire, etc.
Structures dangerous to their surroundings	Refinery Service station Firework factory Munition works	Consequences of fire and explosion to the plant and its surroundings
Structures dangerous to the environment	Chemical plant Nuclear plant Biochemical laboratories and plants	Fire and malfunction of the plant with detrimental consequences to the local and global environment

NOTES

- 1 Sensitive electronic equipment might be installed in all kinds of structures, including all kinds of common structures, which can be easily damaged by overvoltages due to lightning.
- 2 The loss of service is the product of the time for which a single user cannot make use of the service by the number of users involved, in one year.

3 Caractéristiques de la foudre

Les caractéristiques de la foudre sont habituellement obtenues à partir de mesures faites sur des objets élevés. Les données fournies par le présent guide se réfèrent à la fois aux coups de foudre descendants et ascendants.

On peut supposer que la distribution statistique des caractéristiques de la foudre enregistrées suit une distribution logarithmique normale. Sur cette base, on peut calculer la probabilité d'apparition de n'importe quelle valeur de chaque caractéristique, à partir des valeurs fournies par l'annexe A.

Le rapport des polarités des coups de foudre dépend du territoire. Si l'on ne dispose d'aucune donnée locale, on suppose 10 % de coups positifs et 90 % de coups négatifs.

Les valeurs rapportées dans le présent guide sont fondées sur une répartition de 10 % de polarités positives et de 90 % de polarités négatives.

3.1 *Caractéristiques des courants de foudre utilisées pour dimensionner les installations de protection contre la foudre*

Les effets mécaniques et thermiques de la foudre sont liés à la valeur du courant de crête (I), à la charge totale (Q_{total}), à la charge impulsionnelle (Q_{impulse}) et à l'énergie spécifique (W/R). Les valeurs les plus élevées de ces caractéristiques apparaissent dans les coups de foudre positifs.

Les effets dommageables provoqués par la tension induite sont liés à la raideur du front de courant de foudre. Dans le présent guide, on utilise pour les besoins de l'étude la raideur moyenne entre 30 % et 90 % des valeurs du courant de crête. La valeur la plus élevée de ce paramètre apparaît dans les coups de foudre négatifs qui suivent. De tels coups négatifs se produisent dans presque tous les coups dirigés contre une structure.

En supposant qu'il existe 10 % de coups de foudre positifs et 90 % de coups de foudre négatifs, les valeurs des paramètres relatifs aux niveaux de protection sont données dans le tableau 2.

3.2 *Densité des coups de foudre au sol*

Il convient que la densité des coups de foudre au sol, exprimée en termes de coups de foudre au sol par kilomètre carré et par an, soit déterminée par des mesures.

Si l'on ne connaît pas la densité des coups de foudre au sol (N_g), on peut en faire une estimation en utilisant la relation suivante:

$$N_g = 0,04 \cdot T_d^{1,25} \text{ par km}^2 \text{ et par an}$$

où:

T_d est le nombre de jours d'orage par an, tiré des cartes isokérauniques.

NOTE - Cette relation varie avec les changements de conditions climatiques.

3 Lightning parameters

Lightning parameters are usually obtained from measurements taken on high objects. The data given in this guide relates to both downward and upward flashes.

The statistical distribution of the recorded lightning parameters can be assumed to have a logarithmic normal distribution. On this basis, the probability of occurrence of any value of each parameter can be calculated from the values given in annex A.

The polarity ratio of lightning strokes depends on the nature of the territory. If no local information is available, 10 % positive and 90 % negative should be assumed.

The values reported in this guide are based on polarity ratio 10 % positive and 90 % negative.

3.1 *Lightning current parameters used for dimensioning Lightning Protection Systems (LPS)*

The mechanical and thermal effects of lightning are related to the peak value of the current (I), the total charge (Q_{total}), the impulse charge (Q_{impulse}) and specific energy (W/R). The highest values of these parameters occur in positive flashes.

The damaging effects caused by induced voltage are related to the steepness of the lightning current front. In this guide the average steepness between 30 % and 90 % values of the peak current is used for design purposes. The highest value of this parameter occurs in subsequent negative strokes. Such negative strokes occur in almost all negative flashes to a structure.

Provided that 10 % of positive strokes and 90 % of negative flashes is assumed, the values of lightning parameters related to the protection levels are given in table 2.

3.2 *Lightning ground flash density*

The lightning ground flash density expressed in terms of ground strokes per square kilometre per year should be determined by measurement.

If lightning ground stroke density (N_g) is not available, it may be estimated by using the following relationship:

$$N_g = 0,04 \cdot T_d^{1,25} \text{ per km}^2 \text{ per year}$$

where

T_d is the number of thunderstorm days per year obtained from isoceraunic maps

NOTE - This relationship varies with changes in climatic conditions.

Tableau 2 – Correspondance des caractéristiques du courant de foudre et des niveaux de protection (voir 3.1)

Caractéristique de la foudre		Niveau de protection		
		I	II	III-IV
Valeur du courant de crête	I (kA)	200	150	100
Charge totale	Q_{total} (C)	300	225	150
Charge impulsionnelle	$Q_{impulse}$ (C)	100	75	50
Energie spécifique	W/R (kJ/ Ω)	10 000	5 600	2 500
Raideur moyenne	$di/dt_{30/90}$ % kA/ μ s	200	150	100

4 Choix des niveaux de protection pour les installations de protection contre la foudre

L'objectif du choix d'un niveau de protection est de ramener au-dessous d'un niveau maximal tolérable le risque de dégradation causée par un coup de foudre direct sur une structure ou contre une enceinte à protéger.

Pour chaque structure, le risque de dégradations peut être estimé à partir de la fréquence annuelle de coups de foudre directs sur la structure (N_d), la probabilité avec laquelle un coup de foudre engendre des dégradations, et le montant des pertes possibles moyennes qui peuvent apparaître à la suite d'un coup de foudre sur une structure.

NOTE - Il y a des cas où les coups de foudre indirects devraient être pris en compte dans l'évaluation des risques.

Les dégradations dépendent de plusieurs caractéristiques parmi lesquelles on compte l'utilisation, le contenu (en personnes et en biens) à protéger, les matériaux de construction et les mesures prises pour réduire les risques consécutifs à la foudre.

Les structures sont classés en fonction des effets consécutifs à la foudre, comme l'indique l'article 2.

Pour chaque type de structure considérée, fixer un niveau tolérable maximum du risque de dégradations conduit à établir une valeur N_c maximum de la fréquence annuelle des coups de foudre tolérable pour la structure.

En conséquence le choix du niveau adéquat de protection pour l'installation à mettre en place peut être fondé sur la fréquence prévisible N_d des coups de foudre directs sur la structure à protéger et sur la fréquence annuelle acceptée N_c des coups de foudre.

4.1 Fréquence acceptée des coups de foudre (N_c) sur une structure

Les valeurs de N_c doivent être fixées par les Comités nationaux si des pertes humaines, culturelles ou sociales sont à craindre.

Table 2 – Relationship of lightning current parameters to protection levels (see 3.1)

Lightning parameter	Protection level		
	I	II	III-IV
Current peak value I (kA)	200	150	100
Total charge Q_{total} (C)	300	225	150
Impulse charge Q_{impulse} (C)	100	75	50
Specific energy W/R (kJ/Ω)	10 000	5 600	2 500
Average steepness $di/dt_{30/90}$ % kA/μs	200	150	100

4 Selection of protection levels for Lightning Protection Systems (LPS)

The purpose of selecting a protection level is to reduce, below the maximum tolerable level, the risk of damage by a direct lightning flash to a structure, or to a volume to be protected.

For each structure the risk of damage can be estimated taking into account the annual frequency of direct lightning flashes to the structure (N_d), the probability with which lightning causes damage and the average possible loss amount which may appear as a consequence of lightning to the structure.

NOTE - There are cases in which the indirect strokes should be taken into account in the risk assessment.

The damage depends on several parameters, among which are: the use and the content (humans and goods) of the volume to be protected; construction materials and measures taken to reduce the consequential effects of lightning.

The structure is classified according to the consequential effects of lightning as indicated in clause 2.

Once the maximum tolerable level of the risk of damage to the structure considered has been selected, the maximum accepted value N_c of annual frequency of lightning flashes which can cause damage to the structure can be evaluated.

Therefore the selection of the adequate level of protection for the LPS to be provided can be based on the expected frequency N_d of direct lightning flashes to the structure to be protected and on the accepted annual frequency N_c of lightning flashes.

4.1 Accepted frequency of lightning flashes (N_c) to a structure

The values of N_c are the responsibility of National Committees where human, cultural and social losses are involved.

Les valeurs de N_c peuvent être fixées par le possesseur de la structure ou par le concepteur de l'IPF lorsque les pertes concernent seulement des biens privés.

Les valeurs de N_c peuvent être estimées grâce à l'analyse du risque de dégradation en tenant compte de critères appropriés tels que:

- type de construction;
- présence de substances explosives ou inflammables;
- mesures prévues pour réduire les effets des coups de foudre;
- nombre de personnes impliquées dans les dégradations;
- importance et type de service public exploité;
- valeurs des biens impliqués dans les dégradations;
- autres critères (voir tableau 1).

NOTE - Des législations locales peuvent imposer des valeurs de N_c dans des cas particuliers.

4.2 Fréquence prévisible N_d des coups de foudre directs sur une structure

La valeur de la fréquence moyenne annuelle prévisible N_d des coups de foudre directs sur une structure peut être évaluée à partir de l'expression:

$$N_d = N_g \cdot A_e \cdot 10^{-6} \text{ par an}$$

dans laquelle:

N_g est la densité moyenne annuelle de coups de foudre par kilomètre carré et par an, propre à la région dans laquelle est installé la structure, (voir 3.2);

A_e est la surface équivalente d'exposition de la structure (m^2).

La surface équivalente d'exposition de la structure est définie comme une surface au sol qui a la même fréquence annuelle de coups de foudre directs que la structure.

Pour des structures isolées, la surface équivalente d'exposition A_e est la surface limitée par la ligne b1, obtenue par intersection avec le sol d'une droite de pente 1/3 partant du sommet de la structure et tournant autour d'elle (voir figure 1 pour les pays plats et figures 2A et 2B pour les pays non plats).

Dans le cas d'une topographie compliquée, (voir figures 2C et 2D) la construction peut être simplifiée en ne prenant en compte que quelques parties caractéristiques de la ligne de délimitation et en les remplaçant par des parties droites ou circulaires. Des objets environnants influencent de manière significative la surface équivalente si leur distance par rapport à la structure est $< 3 (h + h_s)$; dans laquelle h est la hauteur de la structure étudiée et h_s la hauteur de l'objet environnant.

Dans ce cas, les surfaces équivalentes de la structure et de l'objet se chevauchent et la surface équivalente A_e est réduite jusqu'à une distance:

$$X_s = \frac{d + 3 (h_s - h)}{2}$$

dans laquelle d est la distance horizontale entre la structure et l'objet (voir figure 3).

The values of N_c may be established by the owner of the structure or by the designer of LPS where losses are relevant to private property only.

The values of N_c may be estimated through the analysis of the risk of damage taking into account appropriate factors such as:

- type of construction;
- presence of flammable and explosive substances;
- measures provided to reduce the consequential effects of lightning;
- number of people concerned by the damage;
- type and importance of the public service concerned;
- value of goods having suffered damage;
- other factors (see table 1).

NOTE - Local regulations may impose values of N_c in particular cases.

4.2 Expected frequency N_d of direct lightning flashes to a structure

The average annual frequency N_d of direct lightning flashes to a structure can be assessed from:

$$N_d = N_g \cdot A_e \cdot 10^{-6} \text{ per year}$$

in which,

N_g is the average annual ground flash density, in lightning flashes per square kilometre per year, concerning the region where the structure is located (see 3.2);

A_e is the equivalent collection area of a structure (m^2).

The equivalent collection area of a structure is defined as an area of ground surface which has the same annual frequency of direct lightning flashes as the structure.

For isolated structures the equivalent collection area A_e is the area enclosed within the border line b1 obtained from the intersection between the ground surface and a straight line with 1 : 3 slope which passes from the upper parts of the structure (touching it there) and rotating around it (see figure 1 for flat country and figures 2A and 2B for hilly country).

For complexe topography (see figures 2C and 2D) the construction can be simplified taking into account some characteristic parts of the outline replacing them with straight lines or circle sections. Surrounding objects significantly influence the equivalent area if their distances from the structure are less than $3(h + h_s)$ where: h is the height of the structure under consideration; h_s is the height of the surrounding object.

In this case, the equivalent areas of structure and proximate object overlap each other and the equivalent area A_e is reduced to a distance:

$$X_s = \frac{d + 3(h_s - h)}{2}$$

where: d is the horizontal distance between the structure and the object (see figure 3).

Seuls les objets qui ont une durabilité permanente et une résistance appropriée aux contraintes dues à la foudre seront pris en considération.

Dans tous les cas, la valeur minimum de la surface équivalente d'exposition est supposée égale à celle de la projection horizontale de la structure elle-même sur le sol.

NOTE - D'autres méthodes plus élaborées sont disponibles et peuvent être utilisées pour une évaluation comparée de la surface équivalent d'exposition.

4.3 Procédure de choix des IPF

Dans tous les cas de structures considérées, il convient que le chargé d'étude de la protection contre la foudre réponde tout d'abord à la question de savoir si une protection est nécessaire ou non et que, dans le cas d'une réponse affirmative, qu'il choisisse le niveau de protection approprié.

Une première étape de la procédure de choix d'une IPF nécessite une qualification adéquate de la structure en prenant ses caractéristiques en considération. Il faut déterminer les dimensions et la localisation de la structure, l'activité orageuse (densité annuelle des coups de foudre) dans la région considérée et la classification de la structure. Ces données servent de base à l'évaluation:

- du nombre de coups de foudre direct N_d en tant que produit de la densité locale N_g de coups de foudre au sol par la surface équivalente A_e de la structure;
- de la fréquence moyenne annuelle du nombre de coups de foudre N_c qui peuvent être acceptés pour la structure considérée (voir 4.1).

La valeur acceptée de la fréquence des coups de foudre N_c doit être comparée à la valeur réelle de la fréquence N_d de coups de foudre directs sur la structure.

La comparaison répond à la question relative au besoin de protection et, en cas de réponse affirmative, au choix du niveau de protection convenable pour l'IPF.

Si $N_d \leq N_c$, aucune IPF n'est nécessaire.

Si $N_d > N_c$, une IPF d'efficacité $E \geq 1 - N_c/N_d$ devrait être prévue et un niveau de protection choisi selon le tableau 3.

L'étude de l'IPF sera menée en fonction des prescriptions imposées par la norme pour le niveau de protection choisi.

Si une IPF d'efficacité E' inférieure à E est mise en place, des mesures additionnelles de protection devront être prévues.

Exemples de mesure additionnelle de protection:

- mesures limitant la tension de contact et la tension de pas;
- mesures limitant la propagation du feu;
- mesures pour réduire les effets des surtensions induites par la foudre sur des équipements sensibles.

Only those objects which have permanent durability and adequate resistance against lightning stresses shall be taken into account.

In any case a minimum value of the equivalent collection area is to be assumed equal to the horizontal projection of the structure itself.

NOTE - Other more sophisticated methods are available and can be used for a more precise evaluation of the equivalent collection area.

4.3 Procedure for selection of LPS

For every structure considered, the designer of the LPS protection shall decide whether or not an LPS is needed. If it is, he should select a proper level of protection.

The first step in LPS selection procedure requires an adequate assessment of the structure under consideration according to its features. Structure dimensions and localization, thunderstorm activity (annual lightning flash density) in the considered region as well as the structure classification shall be determined. These data give the background for the assessment of:

- average annual frequency of lightning flashes N_d as a product of the local ground density N_g and the equivalent collection area A_e of the structure;
- average annual frequency of flashes N_c which can be accepted for the considered structure (see 4.1).

The value of the accepted frequency of flashes N_c shall be compared with the actual value of frequency of lightning flashes N_d to the structure.

This comparison allows a decision to be made as to whether and LPS is necessary, and if so, of what type.

If $N_d \leq N_c$ the LPS is not needed.

If $N_d > N_c$, an LPS of efficiency $E \geq 1 - N_c/N_d$ should be installed and the proper level of protection selected according to table 3.

The design of an LPS shall meet the requirements given in the standard for the selected protection level.

If an LPS of efficiency E' lower than E is installed, additional measures of protection shall be provided.

Additional protective measures are for instance:

- measures limiting touch and step voltages;
- measures limiting fire propagation;
- measures to mitigate the effects of lightning-induced overvoltages on the sensitive equipments.

Une explication plus détaillée de la méthode de choix des IPF est donnée en figure 4.

Les valeurs critiques de l'efficacité requise des IPF (E) en fonction de la fréquence des coups de foudre directs N_d sur la structure et de la fréquence acceptée des coups de foudre N_c sont données en figure 5.

Tableau 3 – Correspondance des efficacités des installations de protection contre la foudre et des niveaux de protection

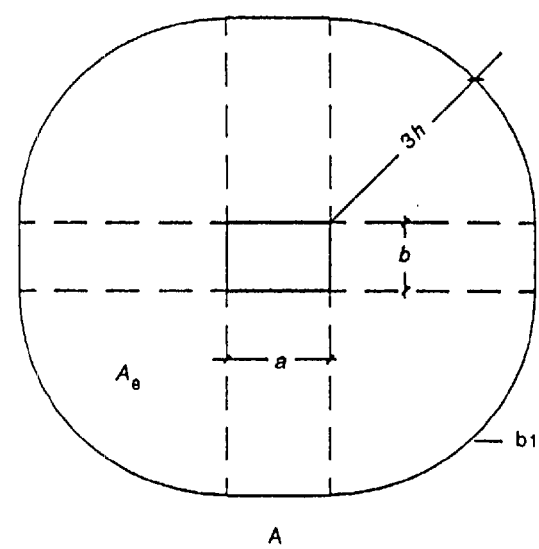
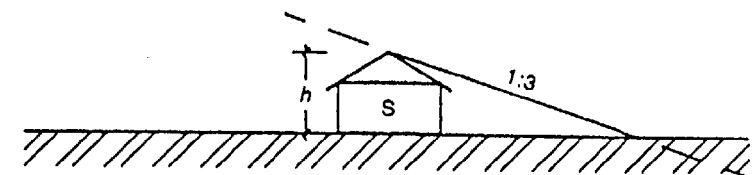
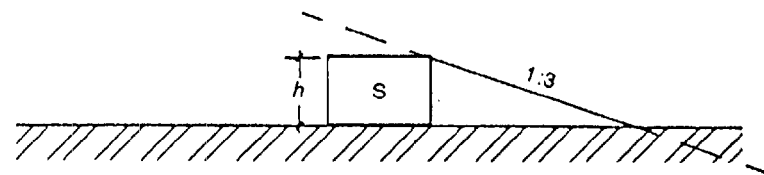
Niveaux de protection	Efficacité des installations de protection E
I	0,98
II	0,95
III	0,90
IV	0,80

More detailed explanation of LPS selection procedure is given in the flow diagram of figure 4.

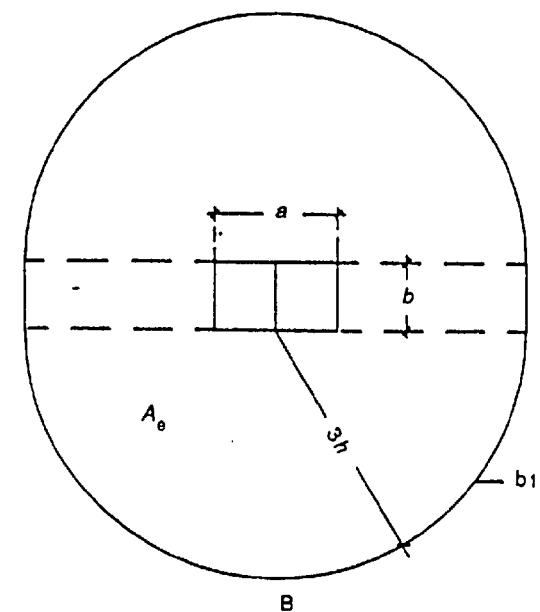
Critical values of required efficiency E , of the LPS, as a function of the direct lightning frequency N_d to the structure, and accepted lightning frequency of flashes N_c are shown in figure 5.

Table 3 – LPS efficiencies corresponding with protection levels

Protection level	LPS efficiency E
I	0,98
II	0,95
III	0,90
IV	0,80

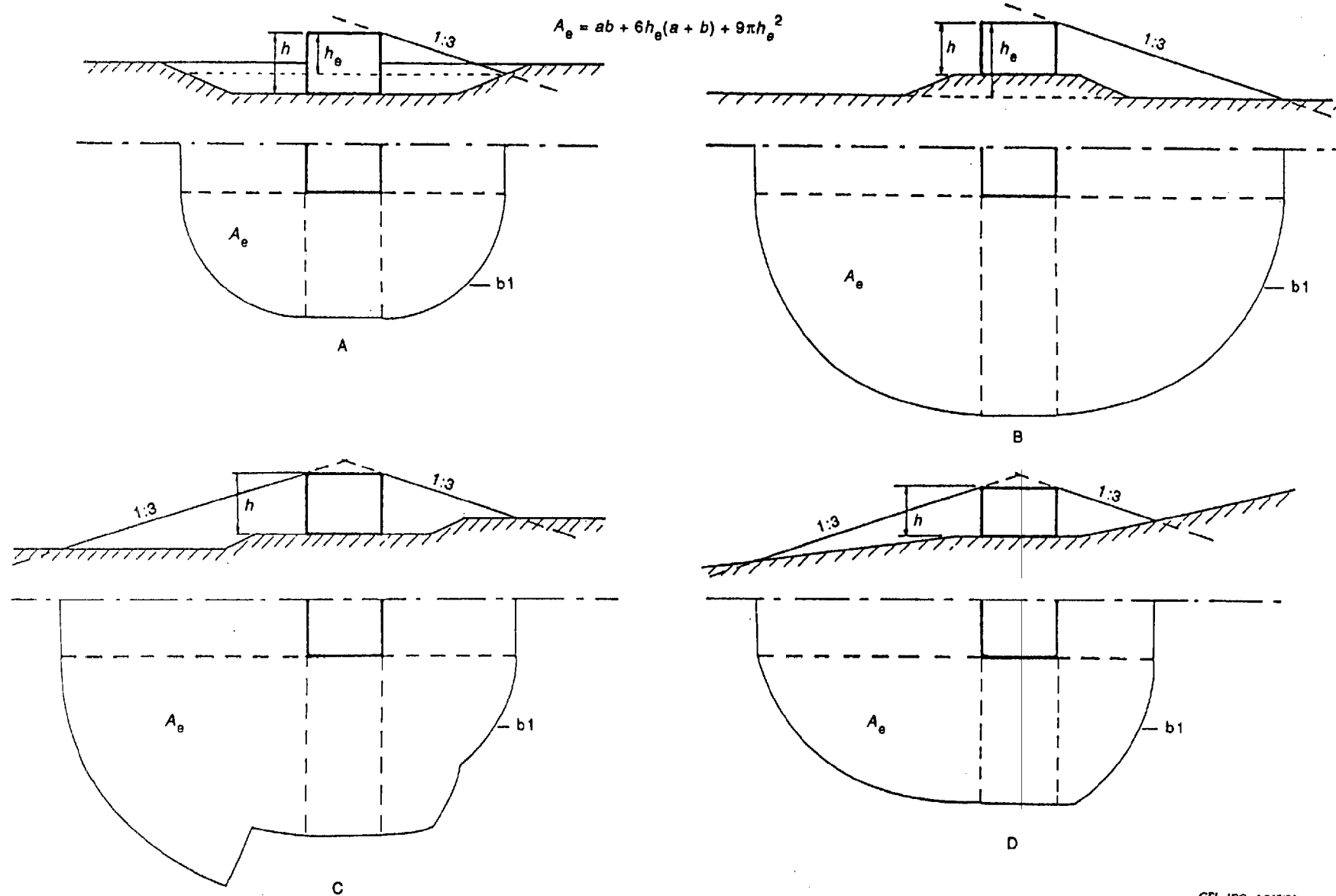


$$A_e = ab + 6h(a + b) + 9\pi h^2$$



CEI-IEC 101693

Figure 1 – Surface équivalente d'exposition d'une structure en pays plat
 Equivalent collection area of a structure in flat country



CEI-IEC 1017/93

Figure 2 – Surface équivalente d'exposition d'une structure en pays non plat
 Equivalent collection area of a structure in hilly country

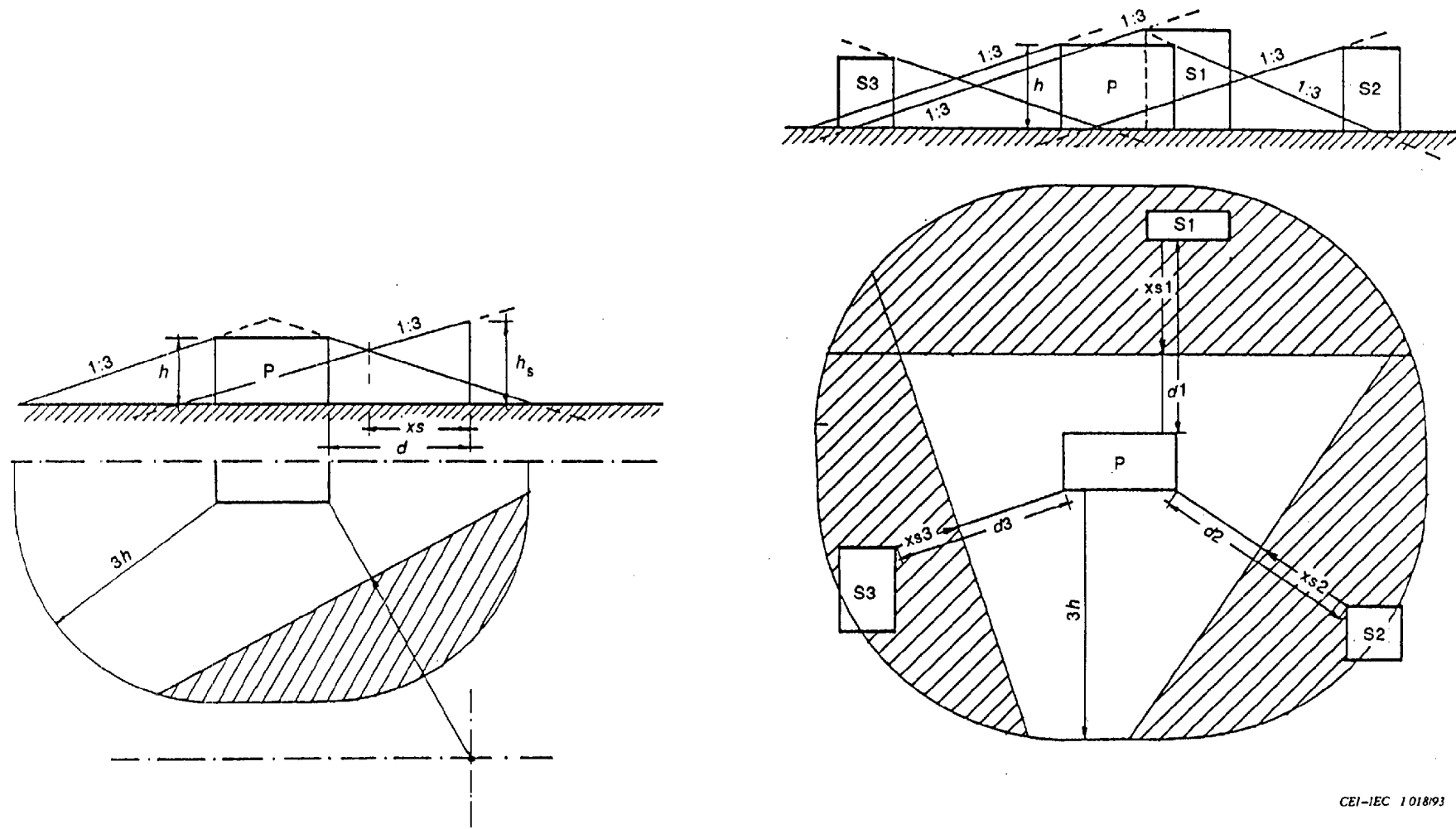


Figure 3 – Surface équivalente d'exposition d'une structure en présence d'objets environnants
 Equivalent collection area of a structure in presence of surrounding objects

CEI-IEC 1018/93

- Page blanche -

- Blank page -

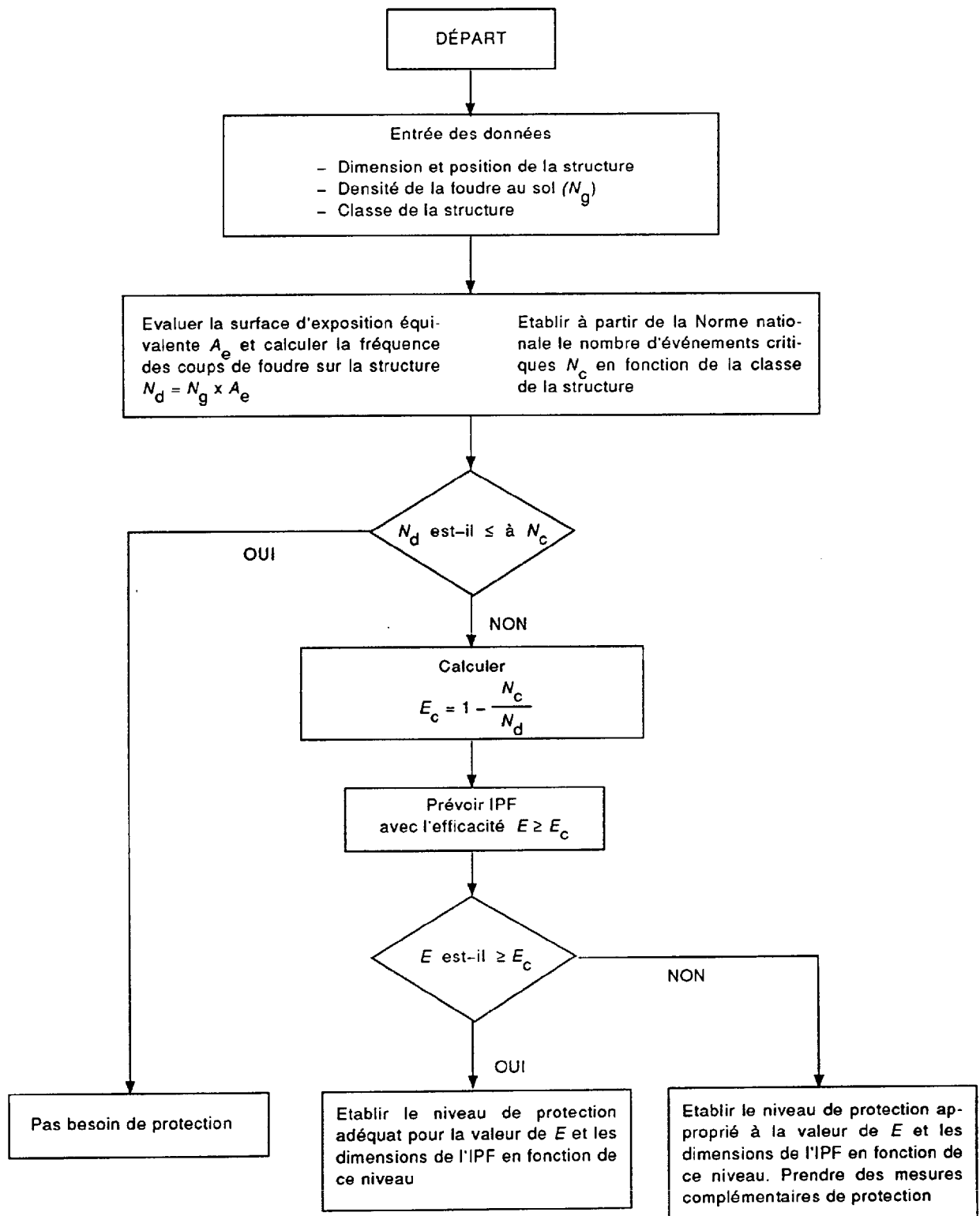


Figure 4 – Organigramme de la procédure du choix d'une installation de protection contre la foudre

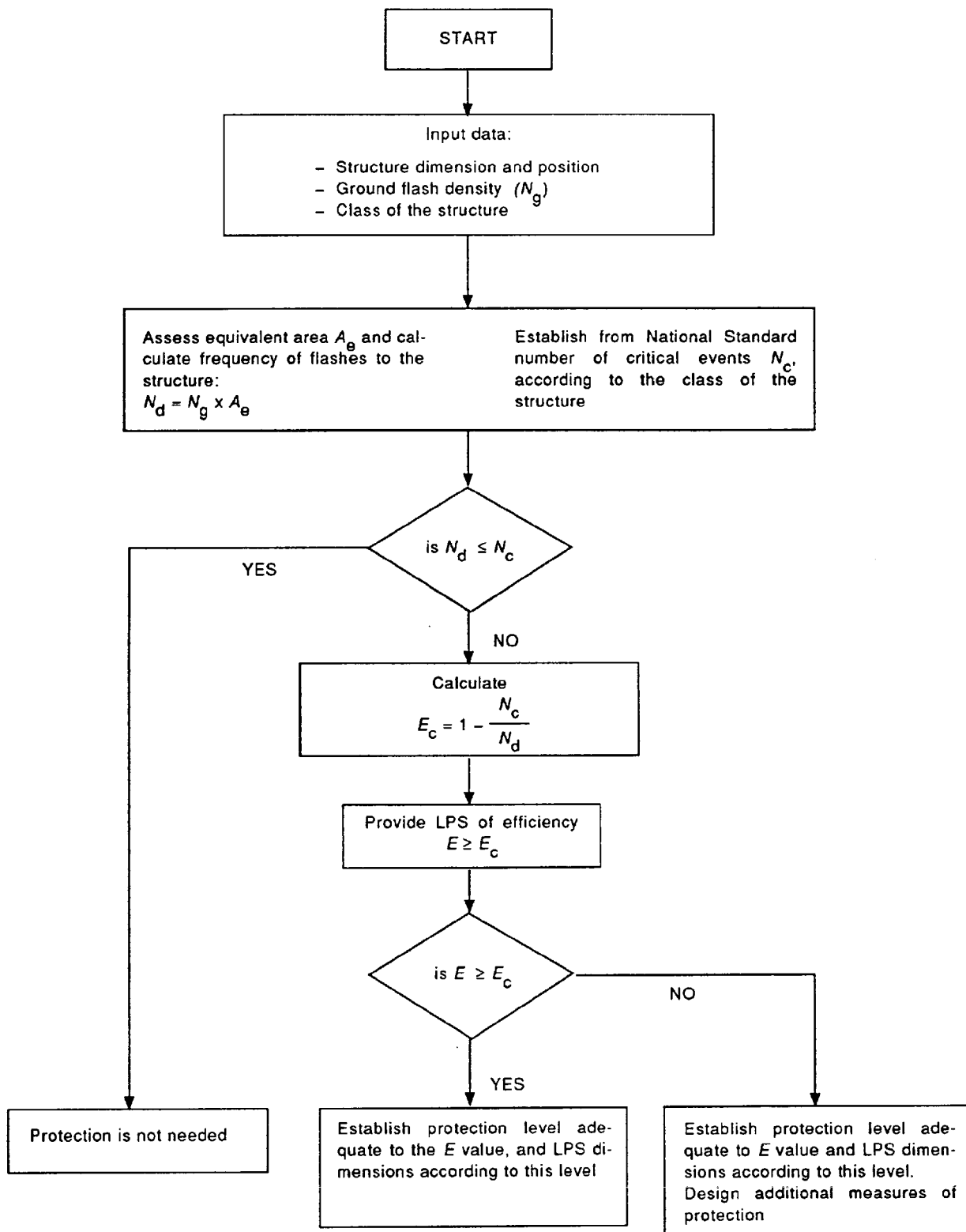


Figure 4 – Flow diagram for LPS selection procedure

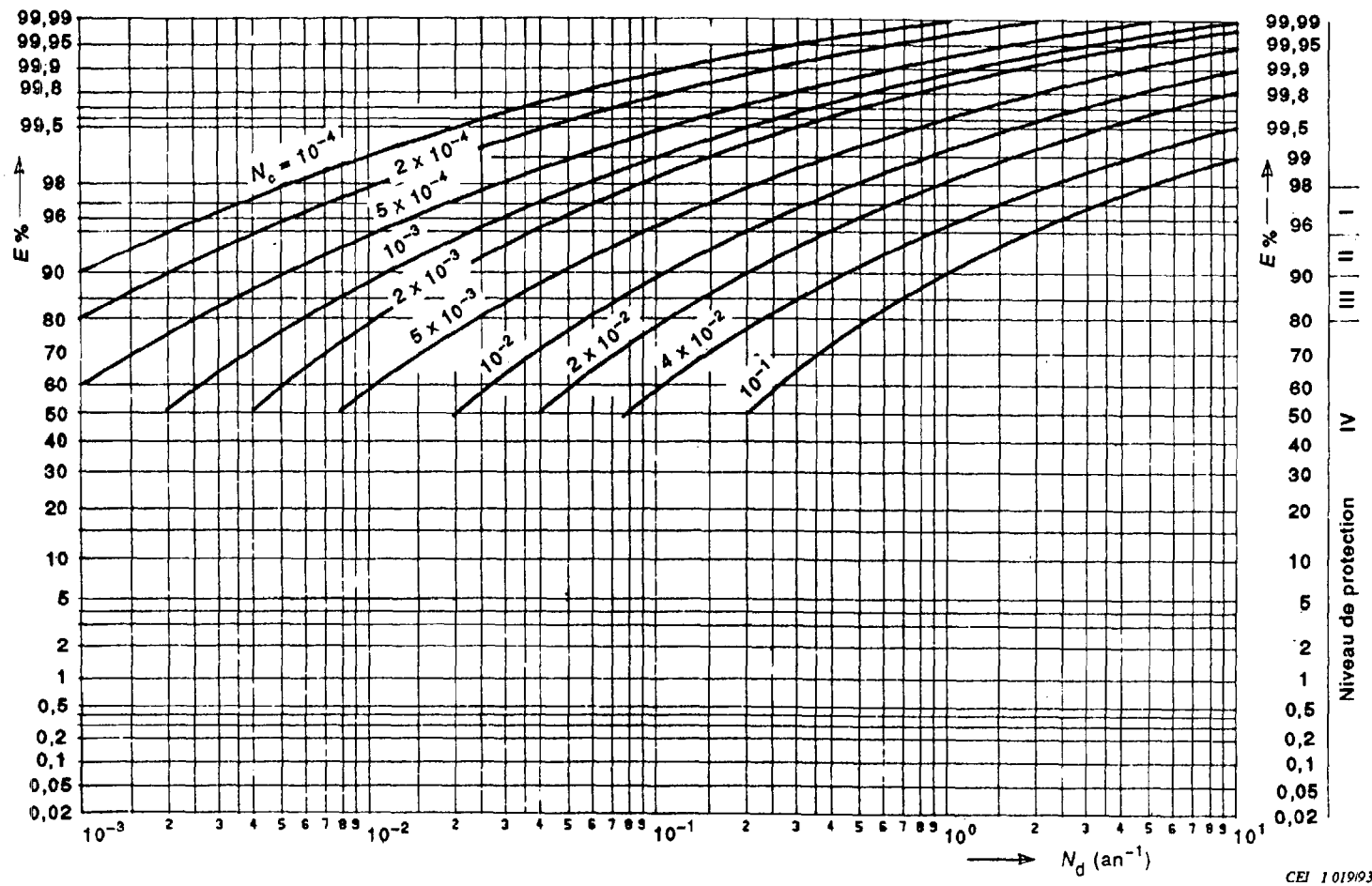


Figure 5 – Valeurs critiques de l'efficacité requise d'une IPF en fonction de N_d et N_c

CEI 101993

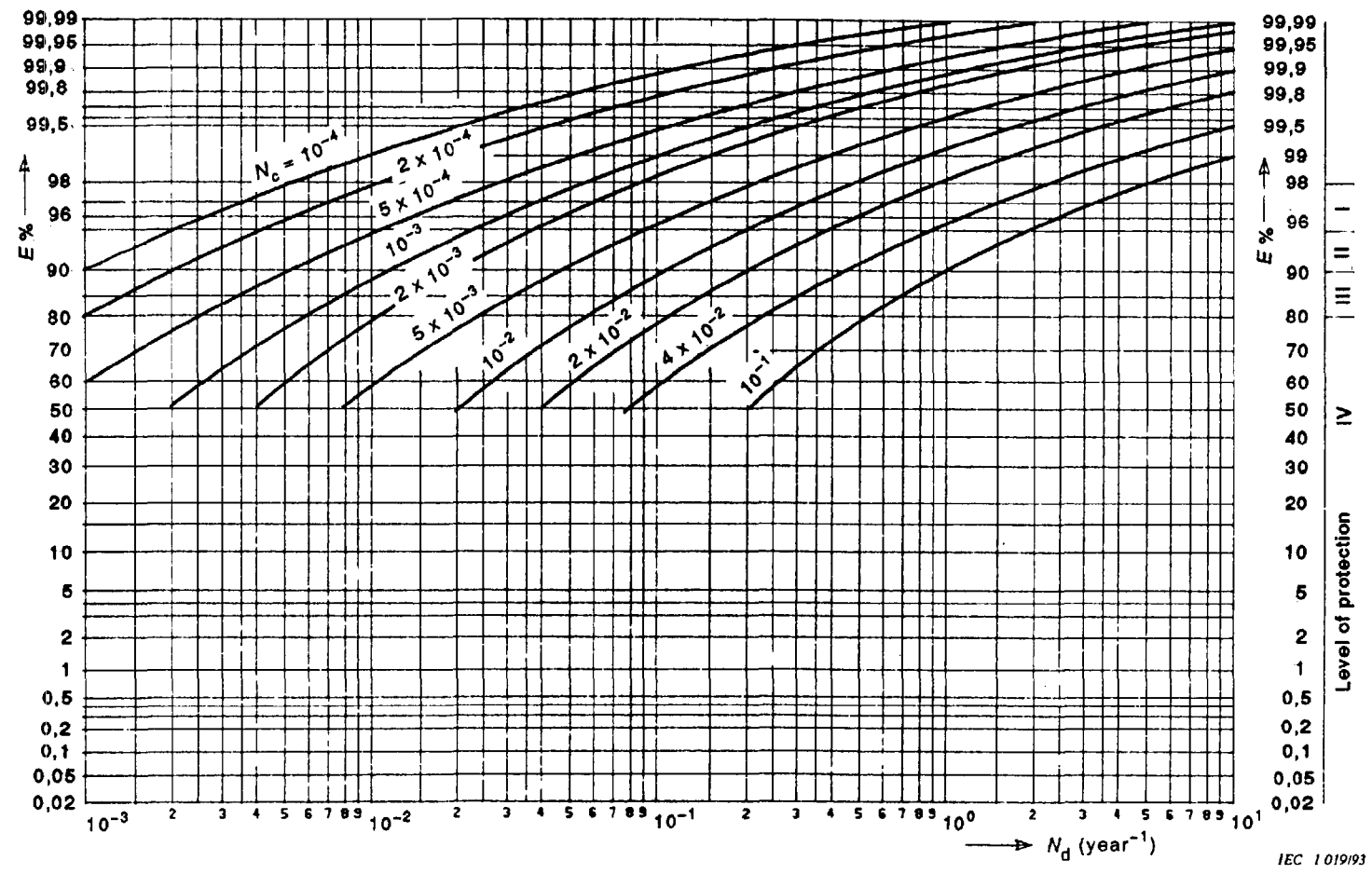


Figure 5 – Critical values of required efficiency of LPS as a function of N_d and N_c

IEC 1019/93

Annexe A (normative)

Valeurs fondamentales des caractéristiques du courant de foudre – Distribution des fréquences cumulées

Courant de crête (kA) (min 2 kA)

Coup de foudre	Fréquence cumulée				
	98 %	95 %	80 %	50 %	5 %
Premiers coups de foudre négatifs	4		20		90
Coups de foudre négatifs suivants		4,6		12	30
Eclairs positifs		4,6		35	250

Charge totale (C)

Coup de foudre	Fréquence cumulée		
	95 %	50 %	5 %
Premiers coups de foudre négatifs	1,1	5,2	24
Coups de foudre négatifs suivants	0,2	1,4	11
Eclairs négatifs	1,3	7,5	40
Eclairs positifs	20	80	350

Charge impulsionnelle (onde de choc) (C)

Coup de foudre	Fréquence cumulée		
	95 %	50 %	5 %
Premiers coups de foudre négatifs	1,1	4,5	20
Coups de foudre négatifs suivants	0,22	0,95	4
Eclairs positifs	2	16	150

Annex A
(normative)

**Basic values of lightning current parameters -
Cumulative frequency distribution**

Peak current (kA) (min 2 kA)

Lightning stroke	Cumulative frequency				
	98 %	95 %	80 %	50 %	5 %
First negative strokes	4		20		90
Subsequent negative strokes		4,6		12	30
Positive flashes		4,6		35	250

Total charge (C)

Lightning stroke	Cumulative frequency		
	95 %	50 %	5 %
First negative strokes	1,1	5,2	24
Subsequent negative strokes	0,2	1,4	11
Negative flashes	1,3	7,5	40
Positive flashes	20	80	350

Impulse charge (C)

Lightning stroke	Cumulative frequency		
	95 %	50 %	5 %
First negative strokes	1,1	4,5	20
Subsequent negative strokes	0,22	0,95	4
Positive flashes	2	16	150

Energie spécifique (J/ Ω)

Coup de foudre	Fréquence cumulée		
	95 %	50 %	5 %
Premiers coups de foudre négatifs	$6,0 \times 10^3$	$5,5 \times 10^4$	$5,5 \times 10^5$
Coups de foudre négatifs suivants	$5,5 \times 10^2$	$6,0 \times 10^3$	$5,2 \times 10^4$
Eclairs positifs	$2,5 \times 10^4$	$6,5 \times 10^5$	$1,5 \times 10^7$

Taux de montée (kA/ μ s)

Premiers coups de foudre négatifs	Fréquence cumulée		
	95 %	50 %	5 %
Taux maximal de montée	9,1	24	65
Raideur moyenne entre: 30 % et 90 % du courant de crête	2,6	7,2	20
10 % et 90 % du courant de crête	1,7	5	14

Coups de foudre négatifs suivants	Fréquence cumulée		
	95 %	50 %	5 %
Taux maximal de montée	10	40	162
Raideur moyenne entre: 30 % et 90 % du courant de crête	4,1	20	99
10 % et 90 % du courant de crête	3,3	15	72

Eclairs positifs	Fréquence cumulée		
	95 %	50 %	5 %
Taux maximal de montée	0,2	2,4	32

Specific energy (J/Ω)

Lightning stroke	Cumulative frequency		
	95 %	50 %	5 %
First negative strokes	$6,0 \times 10^3$	$5,5 \times 10^4$	$5,5 \times 10^5$
Subsequent negative strokes	$5,5 \times 10^2$	$6,0 \times 10^3$	$5,2 \times 10^4$
Positive flashes	$2,5 \times 10^4$	$6,5 \times 10^5$	$1,5 \times 10^7$

Rate of rise (kA/μs)

First negative strokes	Cumulative frequency		
	95 %	50 %	5 %
Maximum rate of rise	9,1	24	65
Average steepness between: 30 % and 90 % of peak current 10 % and 90 % of peak current	2,6 1,7	7,2 5	20 14

Subsequent negative strokes	Cumulative frequency		
	95 %	50 %	5 %
Maximum rate of rise	10	40	162
Average steepness between: 30 % and 90 % of peak current 10 % and 90 % of peak current	4,1 3,3	20 15	99 72

Positive flashes	Cumulative frequency		
	95 %	50 %	5 %
Maximum rate of rise	0,2	2,4	32

Durée du front (μs)

Premiers coups de foudre négatifs	Fréquence cumulée		
	95 %	50 %	5 %
Temps total de montée	1,8	5,5	18
Temps moyen entre:			
30 % et 90 % du courant de crête	1,5	3,8	10
10 % et 90 % du courant de crête	2,2	5,6	14

Coups de foudre négatifs suivants	Fréquence cumulée		
	95 %	50 %	5 %
Temps total de montée	0,2	1,1	4,5
Temps moyen entre:			
30 % et 90 % du courant de crête	0,1	0,6	3,0
10 % et 90 % du courant de crête	0,2	0,8	3,5

Eclairs positifs	Fréquence cumulée		
	95 %	50 %	5 %
Temps total de montée	3,5	22	200

Durée du coup de foudre (μs)

Coup de foudre	Fréquence cumulée		
	95 %	50 %	5 %
Premiers coups de foudre négatifs	30	75	200
Coups de foudre négatifs suivants	6,5	32	140
Eclairs positifs	25	200	2 000

Front time duration (μs)

First negative strokes	Cumulative frequency		
	95 %	50 %	5 %
Total rise time	1,8	5,5	18
Rise time between: 30 % and 90 % of peak current	1,5	3,8	10
10 % and 90 % of peak current	2,2	5,6	14

Subsequent negative strokes	Cumulative frequency		
	95 %	50 %	5 %
Total rise time	0,2	1,1	4,5
Rise time between: 30 % and 90 % of peak current	0,1	0,6	3,0
10 % and 90 % of peak current	0,2	0,8	3,5

Positive flashes	Cumulative frequency		
	95 %	50 %	5 %
Total rise time	3,5	22	200

Stroke duration (μs)

Lightning stroke	Cumulative frequency		
	95 %	50 %	5 %
First negative strokes	30	75	200
Subsequent negative strokes	6,5	32	140
Positive flashes	25	200	2 000

Durée totale de l'éclair (μs)

Coup de foudre	Fréquence cumulée		
	95 %	50 %	5 %
Tous éclairs négatifs	0,15	13	1 100
Coups de foudre négatifs suivants	31	180	900
Eclairs positifs	14	85	500

Intervalle de temps entre coups de foudre (ms)

Coup de foudre	Fréquence cumulée		
	95 %	50 %	5 %
Coups de foudre négatifs multiples	7	33	150

La distribution des fréquences cumulées des caractéristiques de la foudre est indiquée dans la figure A.1.

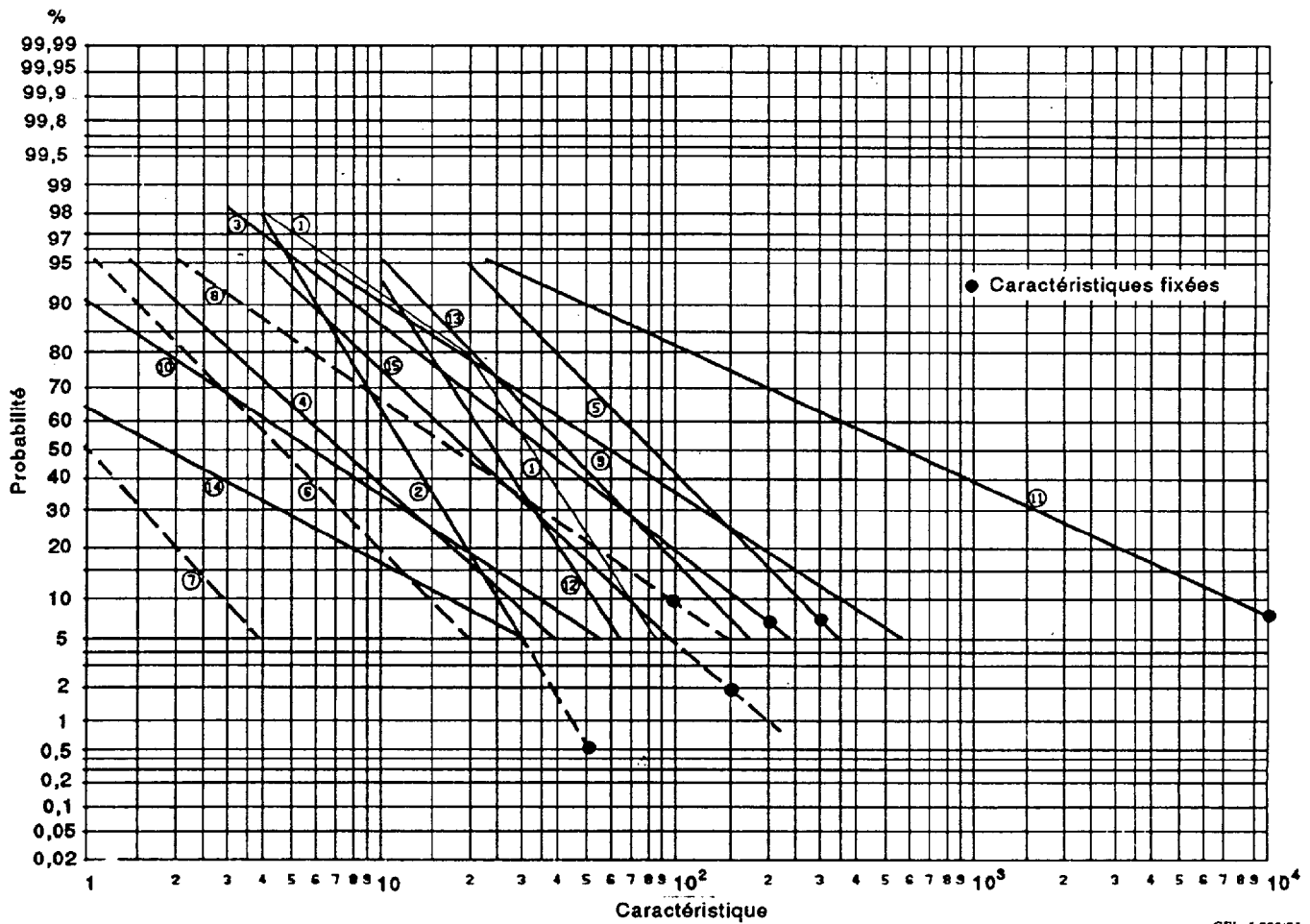
Total flash duration (μs)

Lightning stroke	Cumulative frequency		
	95 %	50 %	5 %
All negative flashes	0,15	13	1 100
Subsequent negative strokes	31	180	900
positive flashes	14	85	500

Time intervals between lightning strokes (ms)

Lightning stroke	Cumulative frequency		
	95 %	50 %	5 %
Multiple negative strokes	7	33	150

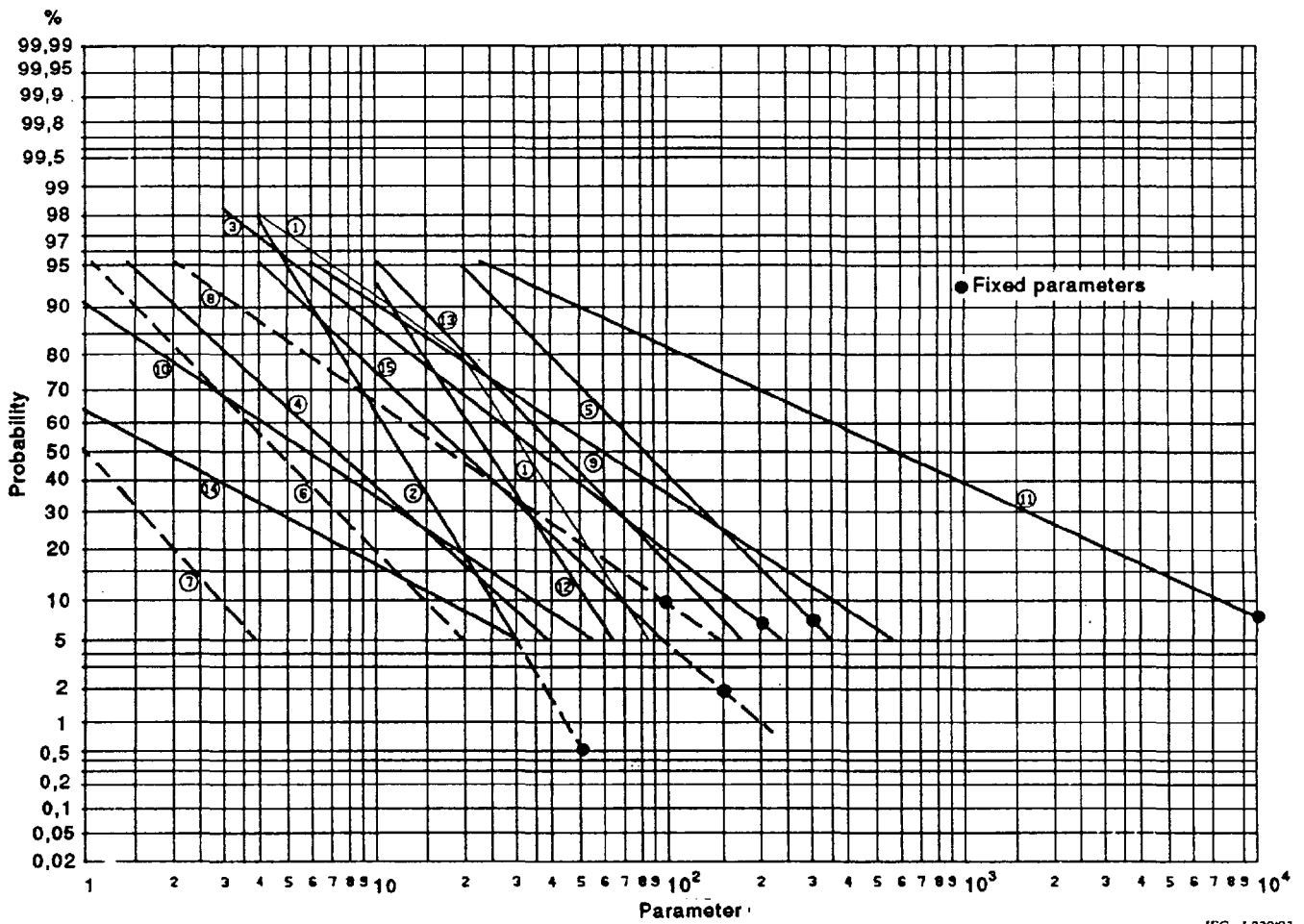
The cumulative frequency distribution of lightning parameters is reported in figure A.1.



CEI 1020/93

Caractéristiques	Echelle des abscisses	Premier coup de foudre négatif	Coups de foudre négatifs suivants	Coups de foudre positifs	Eclair négatif	Eclair positif
I	kA	①	② •	③ •		
Q_{total}	C				④	⑤ •
$Q_{impulse}$	C	⑥	⑦	⑧ •		
W/R	kJ/Ω	⑨	⑩	⑪ •		
di/dt_{max}	$\text{kA}/\mu\text{s}$	⑫	⑬	⑭ •		
$di/dt_{30/90\%}$	$\text{kA}/\mu\text{s}$		⑮ •			

Figure A.1 - Distribution des fréquences cumulées des caractéristiques de la foudre



IEC 1020/93

Parameter	Scale of abscissa	First negative stroke	Subsequent negative strokes	Positive stroke	Negative flash	Positive flash
I	kA	①	② •	③ •		
Q_{total}	C				④	⑤ •
$Q_{impulse}$	C	⑥	⑦	⑧ •		
W/R	kJ/Ω	⑨	⑩	⑪ •		
di/dt_{max}	$\text{kA}/\mu\text{s}$	⑫	⑬	⑭ •		
$di/dt_{30/90\%}$	$\text{kA}/\mu\text{s}$		⑮ •			

Figure A.1 – Cumulative frequency distribution of lightning parameters

**Publications de la CEI préparées
par le Comité d'Etudes n° 81**

1024: — Protection des structures contre la foudre.
1024-1 (1990) Première partie: Principes généraux.
1024-1-1 (1993) Section 1: Guide A – Choix des niveaux de protection
pour les installations de protection contre la foudre.

**IEC publications prepared
by Technical Committee No. 81**

1024: — Protection of structures against lightning.
1024-1 (1990) Part 1: General principles.
1024-1-1 (1993) Section 1: Guide A – Selection of protection levels
for lightning protection systems.

Publication 1024-1-1

Typeset and printed by the IEC Central Office
GENEVA, SWITZERLAND