

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

62305-1

Première édition
First edition
2006-01

Protection contre la foudre –

**Partie 1:
Principes généraux**

Protection against lightning –

**Part 1:
General principles**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 62305-1:2006

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions consolidées

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

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique. Des renseignements relatifs à cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- **Site web de la CEI (www.iec.ch)**
- **Catalogue des publications de la CEI**

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/searchpub) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- **IEC Just Published**

Ce résumé des dernières publications parues (www.iec.ch/online_news/justpub) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- **Service clients**

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Further information on IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology. Information relating to this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- **IEC Web Site (www.iec.ch)**
- **Catalogue of IEC publications**

The on-line catalogue on the IEC web site (www.iec.ch/searchpub) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- **IEC Just Published**

This summary of recently issued publications (www.iec.ch/online_news/justpub) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- **Customer Service Centre**

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: custserv@iec.ch
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

62305-1

Première édition
First edition
2006-01

Protection contre la foudre –

**Partie 1:
Principes généraux**

Protection against lightning –

**Part 1:
General principles**

© IEC 2006 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.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembe, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE **XB**

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	8
INTRODUCTION.....	12
1 Domaine d'application	14
2 Références normatives.....	14
3 Termes et définitions	14
4 Paramètres du courant de foudre	26
5 Dommages dus à la foudre.....	26
5.1 Dommages sur la structure.....	26
5.2 Dommages pour les services.....	32
5.3 Types de pertes	34
6 Nécessité et besoin économique d'une protection contre la foudre	38
6.1 Nécessité d'une protection contre la foudre.....	38
6.2 Besoin économique d'une protection contre la foudre.....	40
7 Mesures de protection	40
7.1 Mesures de protection pour réduire les blessures des personnes dues aux tensions de contact et de pas.....	40
7.2 Mesures de protection pour réduire les dommages physiques	40
7.3 Mesures de protection pour réduire les défaillances des réseaux de puissance et de communication.....	42
7.4 Choix des mesures de protection	42
8 Critère de base pour la protection des structures et des services	42
8.1 Niveaux de protection contre la foudre (NPF)	44
8.2 Zones de protection contre la foudre (ZPF)	52
8.3 Protection des structures.....	54
8.4 Protection des services	56
Annexe A (informative) Paramètres du courant de foudre	58
Annexe B (informative) Fonctions temporelles du courant de foudre à des fins d'analyse	74
Annexe C (informative) Simulation du courant de foudre aux fins d'essais	86
Annexe D (informative) Paramètres d'essais simulant les effets de la foudre sur les composants des systèmes de protection contre la foudre (SPF)	94
Annexe E (informative) Chocs dus à la foudre en divers points de l'installation.....	124
Bibliographie.....	134

CONTENTS

FOREWORD.....	9
INTRODUCTION.....	13
1 Scope.....	15
2 Normative references.....	15
3 Terms and definitions	15
4 Lightning current parameters	27
5 Damage due to lightning	27
5.1 Damage to a structure	27
5.2 Damage to a service.....	33
5.3 Types of loss	35
6 Need and economic convenience for lightning protection.....	39
6.1 Need for lightning protection	39
6.2 Economic convenience of lightning protection	41
7 Protection measures.....	41
7.1 Protection measures to reduce injury of living beings due to touch and step voltages.....	41
7.2 Protection measures to reduce physical damage.....	41
7.3 Protection measures to reduce failure of electrical and electronic systems	43
7.4 Protection measures selection	43
8 Basic criteria for protection of structures and services.....	43
8.1 Lightning protection levels (LPL).....	45
8.2 Lightning protection zones (LPZ).....	53
8.3 Protection of structures.....	55
8.4 Protection of services	57
Annex A (informative) Parameters of lightning current	59
Annex B (informative) Time functions of the lightning current for analysis purposes	75
Annex C (informative) Simulation of the lightning current for test purposes	87
Annex D (informative) Test parameters simulating the effects of lightning on LPS components	95
Annex E (informative) Surges due to lightning at different installation points	125
Bibliography.....	135

Figure 1 – Types de pertes et risques correspondants dus à différents types de dommages.....	38
Figure 2 – Zones de protection contre la foudre (ZPF) définies par un SPF (CEI 62305-3)....	48
Figure 3 – ZPF définies par les mesures de protection contre l'IEMF (CEI 62305-4)	50
Figure A.1 – Définitions des paramètres d'un choc court (typiquement $T_2 < 2$ ms).....	58
Figure A.2 – Définitions des paramètres d'un choc long (typiquement 2 ms $< T_{long} < 1$ s).....	60
Figure A.3 – Composantes possibles d'éclairs descendants (typiques en plaine et sur des structures peu élevées).....	60
Figure A.4 – Composantes possibles d'éclairs ascendants (typiques sur des structures exposées et/ou élevées)	62
Figure A.5 – Fréquence de distribution cumulative des paramètres du courant de foudre (valeurs de 95 % à 5 %).....	68
Figure B.1 – Forme d'onde du courant de montée du premier coup court.....	76
Figure B.2 – Forme d'onde du courant de queue du premier coup court.....	78
Figure B.3 – Forme d'onde du courant de montée des coups consécutifs	80
Figure B.4 – Forme d'onde du courant de queue des coups consécutifs	82
Figure B.5 – Densité du courant de foudre pour le niveau de protection I.....	84
Figure C.1 – Exemple de générateur d'essai pour la simulation de l'énergie spécifique du premier coup de foudre de courte durée et pour la charge du coup de foudre de longue durée	88
Figure C.2 – Définition de la raideur du courant conformément au Tableau C.3	90
Figure C.3 – Exemple de générateur d'essai pour la simulation de la raideur du front du premier coup de foudre court pour des appareils d'essais importants.....	92
Figure C.4 – Exemple de générateur d'essai pour la simulation de la raideur du front des coups de foudre consécutifs courts pour des matériels importants	92
Figure D.1 – Disposition générale de deux conducteurs pour le calcul des forces électrodynamiques.....	108
Figure D.2 – Disposition typique des conducteurs d'une installation de protection contre la foudre	108
Figure D.3 – Diagramme des contraintes pour la configuration de la Figure D.2.....	110
Figure D.4 – Force par unité de longueur le long du conducteur horizontal de la Figure D.2 ..	110
Tableau 1 – Effets de la foudre sur des structures habituelles	28
Tableau 2 – Effets de la foudre sur des services typiques.....	32
Tableau 3 – Dommages et pertes en divers points d'impact de la foudre	36
Tableau 4 – Dommages et pertes dans un service selon les points d'impact de la foudre	36
Tableau 5 – Valeurs maximales des paramètres de foudre correspondant aux niveaux de protection contre la foudre	46
Tableau 6 – Valeurs minimales des paramètres de foudre et rayon de sphère fictive associé correspondant aux niveaux de protection	52
Tableau 7 – Probabilités des limites des paramètres du courant de foudre	52
Tableau A.1 – Valeurs des paramètres du courant de foudre de la CIGRE (Electra N° 41 ou N° 69*)[3], [4]	64
Tableau A.2 – Distribution logarithmique normale des paramètres de courant de foudre – Valeurs moyennes μ et de dispersion σ_{log} calculées pour 95 % et 5 % à partir de CIGRE (Electra N° 41 ou N° 69) [3], [4].....	66

Figure 1 – Types of loss and corresponding risks resulting from different types of damage.....	39
Figure 2 – LPZ defined by an LPS (IEC 62305-3).....	49
Figure 3 – LPZ defined by protection measures against LEMP (IEC 62305-4)	51
Figure A.1 – Definitions of short stroke parameters (typically $T_2 < 2$ ms).....	59
Figure A.2 – Definitions of long stroke parameters (typically $2 \text{ ms} < T_{\text{long}} < 1 \text{ s}$).....	61
Figure A.3 – Possible components of downward flashes (typical in flat territory and to lower structures)	61
Figure A.4 – Possible components of upward flashes (typical to exposed and/or higher structures)	63
Figure A.5 – Cumulative frequency distribution of lightning current parameters (lines through 95 % and 5 % value).....	69
Figure B.1 – Waveshape of the current rise of the first short stroke	77
Figure B.2 – Waveshape of the current tail of the first short stroke	79
Figure B.3 – Waveshape of the current rise of the subsequent short strokes.....	81
Figure B.4 – Waveshape of the current tail of the subsequent short strokes.....	83
Figure B.5 – Amplitude density of the lightning current according to LPL I.....	85
Figure C.1 – Example test generator for the simulation of the specific energy of the first short stroke and the charge of the long stroke	89
Figure C.2 – Definition for the current steepness in accordance with Table C.3.....	91
Figure C.3 – Example test generator for the simulation of the front steepness of the first short stroke for large test items	93
Figure C.4 – Example test generator for the simulation of the front steepness of the subsequent short strokes for large test items.....	93
Figure D.1 – General arrangement of two conductors for the calculation of electrodynamic force	109
Figure D.2 – Typical conductor arrangement in an LPS.....	109
Figure D.3 – Diagram of the stresses for the configuration of Figure D.2.....	111
Figure D.4 – Force per unit length along the horizontal conductor of Figure D.2	111
Table 1 – Effects of lightning on typical structures	29
Table 2 – Effects of lightning on typical services	33
Table 3 – Damages and loss in a structure according to different points of strike of lightning.....	37
Table 4 – Damages and loss in a service according to different points of strike of lightning.....	37
Table 5 – Maximum values of lightning parameters according to LPL.....	47
Table 6 – Minimum values of lightning parameters and related rolling sphere radius corresponding to LPL	53
Table 7 – Probabilities for the limits of the lightning current parameters	53
Table A.1 – Tabulated values of lightning current parameters taken from CIGRE (Electra No. 41 or No. 69*) [3], [4]	65
Table A.2 – Logarithmic normal distribution of lightning current parameters – Mean μ and dispersion σ_{\log} calculated from 95 % and 5 % values from CIGRE (Electra No. 41 or No. 69) [3], [4].....	67

Tableau B.1 – Paramètres pour l'Equation B.1	74
Tableau C.1 – Paramètres du premier coup de foudre de courte durée	88
Tableau C.2 – Paramètres d'essais d'un coup de foudre de longue durée.....	88
Tableau C.3 – Paramètres d'essai de coups de foudre de courte durée	90
Tableau D.1 – Synthèse des paramètres de foudre à considérer pour le calcul des valeurs d'essais pour divers composants des SPF et pour divers niveaux de protection	96
Tableau D.2 – Caractéristiques physiques de matériaux typiques utilisés dans les composants des SPF	102
Tableau D.3 – Elévation de température de conducteurs de diverses sections en fonction de W/R	102
Tableau E.1 – Valeurs conventionnelles de résistance de terre Z et Z_1 suivant la résistivité du sol.....	126
Tableau E.2 – Surintensités de foudre susceptibles d'apparaître lors des impacts de foudre	128

Table B.1 – Parameters for Equation B.1	75
Table C.1 – Test parameters of the first short stroke	89
Table C.2 – Test parameters of the long stroke	89
Table C.3 – Test parameters of the short strokes	91
Table D.1 – Summary of the lightning threat parameters to be considered in the calculation of the test values for the different LPS components and for the different LPL.....	97
Table D.2 – Physical characteristics of typical materials used in LPS components	103
Table D.3 – Temperature rise for conductors of different sections as a function of W/R	103
Table E.1 – Conventional earthing impedance values Z and Z_1 according to the resistivity of the soil.....	127
Table E.2 – Expected surge overcurrents due to lightning flashes	129

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PROTECTION CONTRE LA Foudre –

Partie 1: Principes généraux

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). 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 concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 62305-1 a été établie par le comité d'études 81 de la CEI: Protection contre la foudre.

La série CEI 62305 (Parties 1 à 5), est établie conformément au Nouveau Plan de Publications, approuvé par les Comités nationaux (81/171/RQ (2001-06-29)). Ce plan restructure et met à jour, sous une forme simple et rationnelle, les publications de la série CEI 61024, de la série CEI 61312 et de la série CEI 61663.

Le texte de cette première édition de la CEI 62305-1 est élaboré à partir de la norme suivante et la remplace:

- la CEI 61024-1-1, première édition (1993).

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

PROTECTION AGAINST LIGHTNING –**Part 1: General principles**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). 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. 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 IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 62305-1 has been prepared by IEC technical committee 81: Lightning protection.

The IEC 62305 series (Parts 1 to 5), is produced in accordance with the New Publications Plan, approved by National Committees (81/171/RQ (2001-06-29)), which restructures and updates in a more simple and rational form the publications of the IEC 61024 series, the IEC 61312 series and the IEC 61663 series.

The text of this first edition of IEC 62305-1 is compiled from and replaces

- IEC 61024-1-1, first edition (1993).

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
81/262/FDIS	81/267/RVD

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

Cette publication a été rédigée, aussi fidèlement que possible, selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

La CEI 62305 comprend les parties suivantes, sous le titre général *Protection contre la foudre*:

Partie 1: Principes généraux

Partie 2: Evaluation du risque

Partie 3: Dommages physiques sur les structures et risques humains

Partie 4: Réseaux de puissance et de communication dans les structures

Partie 5: Services¹

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

¹ A publier

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

FDIS	Report on voting
81/262/FDIS	81/267/RVD

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

This publication has been drafted, as close as possible, in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

IEC 62305 consists of the following parts, under the general title *Protection against lightning*:

Part 1: General principles

Part 2: Risk management

Part 3: Physical damage to structures and life hazard

Part 4: Electrical and electronic systems within structures

Part 5: Services¹

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed;
- withdrawn;
- replaced by a revised edition, or
- amended.

¹ To be published

INTRODUCTION

Il n'existe pas de dispositifs ou de méthodes susceptibles de modifier les phénomènes naturels au point d'empêcher les décharges de foudre. Les impacts de foudre sur des structures ou à leur proximité (ou sur des services pénétrant dans les structures) sont dangereux pour les personnes, les structures elles-mêmes, leur contenu, les installations et les services. C'est pourquoi les mesures de protection contre la foudre sont essentielles.

Il convient que le besoin d'une protection, les bénéfices économiques de la mise en œuvre de mesures de protection appropriées et leur choix soient déterminés en terme d'évaluation du risque. La méthode d'évaluation du risque fait l'objet de la CEI 62305-2.

Les critères de conception, de mise en œuvre et de maintenance de mesures de protection contre la foudre sont analysés dans trois parties séparées:

- une première partie qui se réfère aux mesures de protection de réduction des dommages physiques et des dangers pour les personnes en raison des coups de foudre directs sur la structure fait l'objet de la CEI 62305-3;
- une deuxième partie qui se réfère aux mesures de protection de réduction les défaillances des réseaux de puissance et de communication dans la structure fait l'objet de la CEI 62305-4;
- une troisième partie se référant aux mesures de protection de réduction des dommages physiques et des pertes des services liés à une structure (plus particulièrement les réseaux de puissance et de communication) fait l'objet de la CEI 62305-5.

INTRODUCTION

There are no devices nor methods capable of modifying the natural weather phenomena to the extent that they can prevent lightning discharges. Lightning flashes to, or nearby, structures (or services connected to the structures) are hazardous to people, to the structures themselves, their contents and installations as well as to services. This is why the application of lightning protection measures is essential.

The need for protection, the economic benefits of installing protection measures and the selection of adequate protection measures should be determined in terms of risk management. Risk management is the subject of IEC 62305-2.

The criteria for design, installation and maintenance of lightning protection measures are considered in three separate groups:

- the first group concerns protection measures to reduce physical damage and life hazard in a structure is given in IEC 62305-3,
- the second group concerns protection measures to reduce failures of electrical and electronic systems in a structure is given in IEC 62305-4,
- the third group concerns protection measures to reduce physical damage and failures of services connected to a structure (mainly electrical and telecommunication lines) is given in IEC 62305-5.

PROTECTION CONTRE LA Foudre –

Partie 1: Principes généraux

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 62305 donne des principes généraux à suivre pour la protection contre la foudre

- des structures, y compris leurs installations, leur contenu et les personnes;
- des services liés à une structure.

Les cas suivants sont hors du domaine d'application de la présente norme:

- chemins de fer;
- véhicules, navires, avions, installations en mer;
- canalisations enterrées à haute pression;
- canalisations, lignes de puissance et de communication non reliées à la structure.

NOTE Ces cas sont généralement régis par des règlements particuliers émis par des autorités compétentes.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 62305-2, *Protection contre la foudre – Partie 2: Evaluation du risque*

CEI 62305-3, *Protection contre la foudre – Partie 3: Dommages physiques sur les structures et risques humains*

CEI 62305-4, *Protection contre la foudre – Partie 4: Réseaux de puissance et de communication dans les structures*

CEI 62305-5, *Protection contre la foudre – Partie 5: Services*²

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

3.1

coup de foudre à la terre

décharge électrique d'origine atmosphérique entre un nuage et la terre, consistant en un ou plusieurs coups de foudre

² A publier.

PROTECTION AGAINST LIGHTNING –

Part 1: General principles

1 Scope

This part of IEC 62305 provides the general principles to be followed in the protection against lightning of

- structures including their installations and contents as well as persons,
- services connected to a structure.

The following cases are outside the scope of this standard:

- railway systems;
- vehicles, ships, aircraft, offshore installations;
- underground high pressure pipelines;
- pipe, power and telecommunication lines not connected to a structure.

NOTE Usually these systems are under special regulations made by various specific authorities.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 62305-2, *Protection against lightning – Part 2: Risk management*

IEC 62305-3, *Protection against lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazard*

IEC 62305-4, *Protection against lightning – Part 4: Electrical and electronic systems within structures*

IEC 62305-5, *Protection against lightning – Part 5: Services*²

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

3.1

lightning flash to earth

electrical discharge of atmospheric origin between cloud and earth consisting of one or more strokes

² To be published.

3.2

éclair descendant

éclair initié par un précurseur descendant du nuage vers le sol

NOTE Un éclair descendant comprend un premier coup de foudre de courte durée, pouvant être suivi de coups consécutifs de courte durée, et pouvant inclure un coup de longue durée.

3.3

éclair ascendant

éclair initié par un précurseur ascendant depuis une structure sur le sol vers un nuage

NOTE Un éclair ascendant comprend un premier coup de foudre de longue durée ou de multiples coups de courte durée superposés, pouvant être suivi de coups consécutifs de courte durée et pouvant inclure un coup de longue durée.

3.4

coup de foudre

simple décharge électrique lors d'un coup de foudre à la terre

3.5

coup de foudre de courte durée

partie du coup de foudre correspondant à un courant impulsionnel

NOTE Ce courant présente un temps jusqu'à mi-valeur T_2 de valeur spécifique inférieure à 2 ms (voir Figure A.1).

3.6

coup de foudre de longue durée

partie du coup de foudre correspondant à un courant permanent

NOTE La durée T_{long} (durée entre la valeur de 10 % du front et la valeur de 10 % de la queue) du courant est typiquement supérieure à 2 ms et inférieure à 1 s (voir Figure A2).

3.7

coups multiples

coup de foudre dont le nombre moyen de décharges est de 3 à 4, avec un intervalle de temps typique entre les décharges de 50 ms

NOTE Phénomènes pouvant avoir plus de quelques dizaines de décharges et pour lesquelles des intervalles de temps, entre les décharges, de 10 ms à 250 ms, ont été observés.

3.8

point d'impact

point où un coup de foudre frappe la terre, ou un objet important (par exemple une structure, une installation de protection contre la foudre, des services, un arbre, etc.)

NOTE Un coup de foudre peut avoir plus d'un point d'impact.

3.9

courant de foudre

i

courant s'écoulant au point d'impact

3.10

valeur crête

I

valeur maximale du courant de foudre

3.11

raideur moyenne de montée du courant de foudre de courte durée

valeur moyenne de la variation de courant dans un intervalle de temps $t_2 - t_1$

NOTE Elle s'exprime comme la différence entre les valeurs de choc au début et à la fin d'un intervalle de temps spécifié $i(t_2) - i(t_1)$ divisée par l'intervalle de temps $t_2 - t_1$ (voir Figure A.1).

3.2

downward flash

lightning flash initiated by a downward leader from cloud to earth

NOTE A downward flash consists of a first short stroke, which can be followed by subsequent short strokes. One or more short strokes may be followed by a long stroke.

3.3

upward flash

lightning flash initiated by an upward leader from an earthed structure to cloud

NOTE An upward flash consists of a first long stroke with or without multiple superimposed short strokes. One or more short strokes may be followed by a long stroke.

3.4

lightning stroke

single electrical discharge in a lightning flash to earth

3.5

short stroke

part of the lightning flash which corresponds to an impulse current

NOTE This current has a time to the half value T_2 typically less than 2 ms (see Figure A.1).

3.6

long stroke

part of the lightning flash which corresponds to a continuing current

NOTE The duration time T_{long} (time from the 10 % value on the front to the 10 % value on the tail) of this continuing current is typically more than 2 ms and less than 1 s (see Figure A.2)

3.7

multiple strokes

lightning flash consisting on average of 3-4 strokes, with typical time interval between them of about 50 ms

NOTE Events having up to a few dozen strokes with intervals between them ranging from 10 ms to 250 ms have been reported.

3.8

point of strike

point where a lightning flash strikes the earth, or protruding object (e.g. structure, LPS, service, tree, etc.)

NOTE A lightning flash may have more than one point of strike.

3.9

lightning current

i

current flowing at the point of strike

3.10

peak value

I

maximum value of the lightning current

3.11

average steepness of the front of short stroke current

average rate of change of current within a time interval $t_2 - t_1$

NOTE It is expressed by the difference $i(t_2) - i(t_1)$ of the values of the current at the start and at the end of this interval, divided by $t_2 - t_1$ (see Figure A.1).

3.12**temps de montée du courant de foudre de courte durée** T_1

paramètre virtuel défini égal à 1,25 fois l'intervalle entre les instants où 10 % et 90 % de la valeur crête sont atteints (voir Figure A.1)

3.13**origine virtuelle du courant de foudre de courte durée** O_1

point d'intersection avec l'axe du temps d'une ligne droite tracée entre les points de référence du temps de montée 10 % et 90 % (voir Figure A.1); elle est précédée par l'instant $0,1 T_1$ correspondant à 10 % de sa valeur crête

3.14**temps jusqu'à mi-valeur** T_2

paramètre virtuel défini égal à l'intervalle de temps entre l'origine virtuelle O_1 et l'instant où le courant a décru jusqu'à mi-valeur du courant crête (voir Figure A.1)

3.15**durée de l'éclair** T

durée pendant laquelle le courant de foudre s'écoule au point d'impact

3.16**durée d'un courant de choc de longue durée** T_{long}

temps durant lequel l'amplitude du courant de foudre de longue durée est compris entre 10 % de la valeur crête lors de l'accroissement du courant permanent et 10 % de la valeur crête lors de la diminution du courant permanent (voir Figure A.2)

3.17**charge impulsionnelle** Q_{flash}

intégrale de temps du courant de foudre pendant la durée totale du coup de foudre

3.18**charge de coup de foudre de courte durée** Q_{short}

intégrale de temps du courant de foudre pendant la durée du coup de foudre de courte durée

3.19**charge de coup de foudre de longue durée** Q_{long}

intégrale de temps du courant de foudre pendant la durée du coup de foudre de longue durée

3.20**énergie spécifique** W/R

intégrale de temps du carré du courant de foudre pour la durée du coup de foudre

NOTE Elle représente l'énergie dissipée par le courant de foudre dans une résistance unité.

3.21**énergie spécifique du courant de courte durée**

intégrale de temps du carré du courant de foudre pour la durée du coup de foudre de courte durée

NOTE L'énergie spécifique d'un courant de longue durée est négligeable.

3.12**front time of short stroke current** T_1

virtual parameter defined as 1,25 times the time interval between the instants when the 10 % and 90 % of the peak value are reached (see Figure A.1)

3.13**virtual origin of short stroke current** O_1

point of intersection with time axis of a straight line drawn through the 10 % and the 90 % reference points on the stroke current front (see Figure A.1); it precedes by $0,1 T_1$ that instant at which the current attains 10 % of its peak value

3.14**time to half value of short stroke current** T_2

virtual parameter defined as the time interval between the virtual origin O_1 and the instant at which the current has decreased to half the peak value (see Figure A.1)

3.15**flash duration** T

time for which the lightning current flows at the point of strike

3.16**duration of long stroke current** T_{long}

time duration during which the current in a long stroke is between the 10 % of the peak value during the increase of the continuing current and 10 % of the peak value during the decrease of the continuing current (see Figure A.2)

3.17**flash charge** Q_{flash}

time integral of the lightning current for the entire lightning flash duration

3.18**short stroke charge** Q_{short}

time integral of the lightning current in a short stroke

3.19**long stroke charge** Q_{long}

time integral of the lightning current in a long stroke

3.20**specific energy** W/R

time integral of the square of the lightning current for the entire flash duration

NOTE It represents the energy dissipated by the lightning current in a unit resistance.

3.21**specific energy of short stroke current**

time integral of the square of the lightning current for the duration of the short stroke

NOTE The specific energy in a long stroke current is negligible.

3.22

objet à protéger

structure ou service à protéger contre les effets de la foudre

3.23

structure à protéger

structure pour laquelle une protection contre les effets de la foudre est prescrite conformément à la présente norme

NOTE Une structure à protéger peut être une partie d' une structure plus grande.

3.24

service à protéger

service pénétrant dans une structure pour lequel une protection contre les effets de la foudre est prescrite conformément à la présente norme

3.25

coup de foudre direct sur un objet

coup de foudre frappant directement l'objet à protéger

3.26

coup de foudre proche d'un objet

impact du coup de foudre suffisamment proche de l'objet à protéger et pouvant endommager les réseaux de puissance ou de communication de cet objet

3.27

réseau de puissance

réseau comprenant des composants de l'alimentation de puissance basse tension

3.28

réseau de communication

réseau comprenant des composants électroniques sensibles tel que matériels de communication, systèmes d'ordinateurs, de commande et d'instrumentation, systèmes radio et installations d'électronique de puissance

3.29

réseau interne

réseaux de puissance et de communication à l'intérieur d'une structure

3.30

dommage physique

dommage sur la structure ou dans son contenu en raison d'effets mécaniques, thermiques, chimiques et explosifs de la foudre

3.31

blessures d'êtres vivants

blessures, y compris la mort, de personnes ou d'animaux en raison des tensions de contact et de pas dues à la foudre

3.32

défaillance d'un réseau électrique et électronique

dommage permanent d'un réseau électrique et électronique dû aux effets électromagnétiques de la foudre (IEMF)

3.22**object to be protected**

structure or service to be protected against the effects of lightning

3.23**structure to be protected**

structure for which protection is required against the effects of lightning in accordance with this standard

NOTE A structure to be protected may be a part of a larger structure.

3.24**service to be protected**

service connected to a structure for which protection is required against the effects of lightning in accordance with this standard

3.25**lightning flash to an object**

lightning flash striking an object to be protected

3.26**lightning flash near an object**

lightning flash striking close enough to an object to be protected that it may cause dangerous overvoltages

3.27**electrical system**

system incorporating low voltage power supply components

3.28**electronic system**

system incorporating sensitive electronic components such as communication equipment, computer, control and instrumentation systems, radio systems, power electronic installations

3.29**internal systems**

electrical and electronic systems within a structure

3.30**physical damage**

damage to a structure (or to its contents) or to a service due to mechanical, thermal, chemical and explosive effects of lightning

3.31**injury of living beings**

injuries, including loss of life, to people or to animals due to touch and step voltages caused by lightning

3.32**failure of electrical and electronic systems**

permanent damage of electrical and electronic systems due to LEMP

3.33

impulsion électromagnétique de foudre

IEMF

effets électromagnétiques dus au courant de foudre

NOTE Elle comprend les chocs conduits ainsi que les effets induits du champ magnétique.

3.34

choc

onde transitoire créant une surtension et/ou une surintensité due à l'IEMF

NOTE Les chocs dus à l'IEMF peuvent être provoqués par des courants (partiels) de foudre, à partir d'effets inductifs dans les boucles de l'installation et comme menace restante en aval des parafoudres.

3.35

zone de protection contre la foudre

ZPF

zone où l'environnement électromagnétique est défini

NOTE Les limites d'une ZPF ne sont pas forcément des limites physiques (par exemple les parois, le sol ou le plafond).

3.36

risque

R

mesure des pertes probables annuelles (personnes et biens) en raison de la foudre par rapport à la valeur relative (personnes et biens) de l'objet à protéger

3.37

risque tolérable

R_T

valeur maximale du risque pouvant être tolérée par la structure ou le service à protéger

3.38

niveau de protection contre la foudre

NPF

chiffre lié à l'ensemble de paramètres du courant de foudre et relatif à la probabilité que les valeurs minimales et maximales prévues ne seront pas dépassées lors d'apparition naturelle d'orages

NOTE Un niveau de protection contre la foudre est utilisé pour prévoir des mesures de protection conformément à l'ensemble des paramètres du courant de foudre.

3.39

mesures de protection

mesures à adopter pour l'objet à protéger afin de réduire le risque

3.40

système de protection contre la foudre

SPF

installation complète utilisée pour réduire les dangers de dommages physiques dus aux coups de foudre directs sur une structure

NOTE Elle comprend à la fois une installation extérieure et une installation intérieure de protection contre la foudre.

3.41

installation extérieure du système de protection contre la foudre

partie de système de protection contre la foudre comprenant un dispositif de capture, des conducteurs de descente et une prise de terre

3.33**lightning electromagnetic impulse**

LEMP

electromagnetic effects of lightning current

NOTE It includes conducted surges as well as radiated impulse electromagnetic field effects.

3.34**surge**

transient wave appearing as overvoltage and /or overcurrent caused by LEMP

NOTE Surges caused by LEMP can arise from (partial) lightning currents, from induction effects in installation loops and as remaining threat downstream of SPD.

3.35**lightning protection zone**

LPZ

zone where the lightning electromagnetic environment is defined

NOTE The zone boundaries of an LPZ are not necessarily physical boundaries (e.g. walls, floor and ceiling).

3.36**risk** R

value of probable average annual loss (humans and goods) due to lightning, relative to the total value (humans and goods) of the object to be protected

3.37**tolerable risk** R_T

maximum value of the risk which can be tolerated for the object to be protected

3.38**lightning protection level**

LPL

number related to a set of lightning current parameters values relevant to the probability that the associated maximum and minimum design values will not be exceeded in naturally occurring lightning

NOTE Lightning protection level is used to design protection measures according to the relevant set of lightning current parameters.

3.39**protection measures**

measures to be adopted in the object to be protected to reduce the risk

3.40**lightning protection system**

LPS

complete system used to reduce physical damage due to lightning flashes to a structure

NOTE It consists of both external and internal lightning protection systems.

3.41**external lightning protection system**

part of the LPS consisting of an air-termination system, a down-conductor system and an earth-termination system

3.42

installation intérieure du système de protection contre la foudre

partie du SPF comprenant les liaisons équipotentielles de foudre, et/ou l'isolation électrique d'un SPF extérieur

3.43

dispositif de capture

partie de l'installation extérieure utilisant des éléments métalliques tels que tiges, mailles ou fils tendus destinés à intercepter la foudre

3.44

conducteur de descente

partie de l'installation extérieure destinée à conduire le courant de foudre du dispositif de capture à la prise de terre

3.45

prise de terre

partie de l'installation extérieure destinée à conduire et à dissiper le courant de décharge atmosphérique à la terre

3.46

éléments conducteurs extérieurs

parties métalliques pénétrant dans ou quittant le volume à protéger telles que canalisations, éléments de câbles métalliques, conduits métalliques, etc. pouvant écouler une partie du courant de foudre

3.47

liaison équipotentielle de foudre

interconnexion des parties métalliques d'une installation de SPF, par des connexions directes ou par des parafoudres réduisant les différences de potentiel engendrées par le courant de foudre

3.48

écran

tresse métallique utilisée pour réduire les dommages physiques dus à l'impact de la foudre sur un service

3.49

système de protection contre l'IEMF

ensemble complet des mesures de protection contre l'IEMF pour les réseaux intérieurs

3.50

écran magnétique

grillage métallique fermé ou écran continu entourant l'objet à protéger, ou une partie de celui-ci, afin de réduire les défaillances des réseaux de puissance et de communication

3.51

parafoudre

dispositif conçu pour limiter les surtensions transitoires et évacuer les courants de choc. Il comporte au moins un composant non linéaire

3.52

protection coordonnée par parafoudres

(parafoudres coordonnés)

ensemble de parafoudres coordonnés choisis de manière appropriée et mis en œuvre afin de réduire les défaillances des réseaux de puissance et de communication

3.42**internal lightning protection system**

part of the LPS consisting of lightning equipotential bonding and/or electrical insulation of external LPS

3.43**air-termination system**

part of an external LPS using metallic elements such as rods, mesh conductors or catenary wires intended to intercept lightning flashes

3.44**down-conductor system**

part of an external LPS intended to conduct lightning current from the air-termination system to the earth-termination system

3.45**earth-termination system**

part of an external LPS which is intended to conduct and disperse lightning current into the earth

3.46**external conductive parts**

extended metal items entering or leaving the structure to be protected such as pipe works, cable metallic elements, metal ducts, etc. which may carry a part of the lightning current

3.47**lightning equipotential bonding**

bonding to LPS of separated metallic parts, by direct conductive connections or via surge protective devices, to reduce potential differences caused by lightning current

3.48**shielding wire**

metallic wire used to reduce physical damage due to lightning flashes to a service

3.49**LEMP protection measures system**

LPMS

complete system of protection measures for internal systems against LEMP

3.50**magnetic shield**

closed, metallic, grid-like or continuous screen enveloping the object to be protected, or part of it, used to reduce failures of electrical and electronic systems

3.51**surge protective device**

SPD

device intended to limit transient overvoltages and divert surge currents. It contains at least one non linear component

3.52**coordinated SPD protection**

set of SPD properly selected, coordinated and erected to reduce failures of electrical and electronic systems

3.53

tension assignée de choc

U_w

tension donnée par le constructeur de l'équipement ou d'une partie de l'équipement, caractérisant la tenue spécifiée de son isolation contre les surtensions

NOTE Dans la présente norme, seule la tension assignée de choc entre les parties conductrices et la terre est considérée.

(CEI 60664-1:2002) [1]³

3.54

résistance de terre conventionnelle

rapport de la valeur crête de la tension et du courant de la borne de terre, qui, en général, ne se produisent pas en même temps

4 Paramètres du courant de foudre

Les paramètres du courant de foudre utilisés dans la série CEI 62305 sont donnés à l'Annexe A.

L'Annexe B donne la fonction temporelle du courant de foudre à utiliser à des fins d'analyse.

L'Annexe C donne des informations pour la simulation du courant de foudre à des fins d'essais.

L'Annexe D donne les paramètres essentiels à utiliser dans les laboratoires pour simuler les effets de la foudre sur les composants des SPF.

L'Annexe E donne des informations sur les chocs dus à la foudre en divers points de l'installation.

5 Dommages dus à la foudre

5.1 Dommages sur la structure

La foudre qui frappe une structure peut entraîner des dommages sur cette structure, ses occupants et leurs biens, y compris des défaillances des matériels, particulièrement aux réseaux internes. Les dommages et les défaillances peuvent aussi s'étendre dans l'environnement de la structure et peuvent impliquer l'environnement local. Cette extension est fonction des caractéristiques de la structure et du coup de foudre.

5.1.1 Effets de la foudre sur la structure

Les caractéristiques principales des structures vis-à-vis des effets de la foudre sont les suivants:

- les matériaux de construction (par exemple, bois, brique, béton, béton armé, armatures métalliques);
- la fonction (habitat domestique, bureaux, fermes, théâtres, hôtels, écoles, hôpitaux, musées, églises, prisons, magasins, banques, usines, sites industriels, stades);
- les occupants et les biens (personnes et animaux, matériaux non inflammables, matériaux inflammables, mélanges explosifs ou non explosifs, dispositifs électriques ou électroniques à haute ou basse tension);

³ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

3.53**rated impulse withstand voltage** U_w

impulse withstand voltage assigned by the manufacturer to the equipment or to a part of it, characterizing the specified withstand capability of its insulation against overvoltages

NOTE For the purposes of this standard, only withstand voltage between live conductors and earth is considered. (IEC 60664-1:2002) [1]³

3.54**conventional earthing impedance**

ratio of the peak values of the earth-termination voltage and the earth-termination current which, in general, do not occur simultaneously

4 Lightning current parameters

The lightning current parameters used in the IEC 62305 series are given in Annex A.

The time function of the lightning current to be used for analysis purposes is given in Annex B.

Information for simulation of lightning current for test purposes is given in Annex C.

The basic parameters to be used in laboratory to simulate the effects of lightning on LPS components are given in Annex D.

Information on surges due to lightning at different installation points is given in Annex E.

5 Damage due to lightning**5.1 Damage to a structure**

Lightning affecting a structure can cause damage to the structure itself and to its occupants and contents, including failure of internal systems. The damages and failures may also extend to the surroundings of the structure and even involve the local environment. The scale of this extension depends on the characteristics of the structure and on the characteristics of the lightning flash.

5.1.1 Effects of lightning on a structure

The main characteristics of structures relevant to lightning effects include:

- construction (e.g. wood, brick, concrete, reinforced concrete, steel frame construction);
- function (dwelling house, office, farm, theatre, hotel, school, hospital, museum, church, prison, department store, bank, factory, industry plant, sports area);
- occupants and contents (persons and animals, presence of combustible or non-combustible materials, explosive or non-explosive materials, electrical and electronic systems with low or high withstand voltage);

³ References in square brackets refer to the bibliography.

- les services connectés (réseaux de puissance, lignes de communication, canalisations);
- les mesures de limitation des effets consécutifs aux effets des dommages (par exemple les mesures pour réduire des dommages physiques et pour protéger la vie, les mesures de protection pour limiter l'échec des réseaux internes);
- l'échelle d'extension du danger (structure avec difficulté d'évacuation où la panique peut s'installer, structure avec danger pour les alentours, structure avec danger pour l'environnement).

Le Tableau 1 indique les effets de la foudre sur divers types de structures.

Tableau 1 – Effets de la foudre sur des structures habituelles

Type de structure selon leur fonction et/ou leur contenu	Effets de la foudre
Locaux d'habitation	Perforation des installations électriques, incendie et dommages matériels Dommages normalement limités aux objets exposés au point d'impact ou aux cheminements du courant de foudre Défaillances des matériels électriques et électroniques et des réseaux (par exemple téléviseurs, ordinateurs, modems, téléphones, etc.)
Fermes	Risque primaire d'incendie et saut de tension dangereux en plus des dommages matériels Risque secondaire dû à la perte de l'alimentation et danger de mort pour le bétail en raison de la défaillance de la commande électronique de la ventilation et de la distribution de nourriture
Théâtres Hôtels Ecoles Magasins Zones sportives	Dommages dans l'installation électrique (par exemple éclairage) susceptibles de provoquer la panique Défaillance des alarmes incendie et retards des mesures anti-incendie
Banques Compagnies d'assurance Compagnies commerciales, etc.	Comme ci-dessus avec en complément des problèmes dus à la perte des communications, des défaillances des ordinateurs et la perte de données
Hôpitaux Nurseries Prisons	Comme ci-dessus avec en complément des problèmes de personnes en soins intensifs et des difficultés à évacuer des personnes impotentes
Industrie	Effets complémentaires en fonction des produits fabriqués, allant de la dégradation mineure aux dégâts inacceptables avec perte de production
Musées et sites archéologiques Eglises	Pertes irremplaçables de l'héritage culturel
Communications et production de puissance	Pertes inacceptables de services pour le public
Usines d'artifices Munitions	Conséquences d'incendie et d'explosion pour le site et son environnement
Usine chimique Raffinerie Site nucléaire Laboratoires biochimiques et sites	Incendie et dysfonctionnements sur le site avec des conséquences nuisibles pour l'environnement local et global

- connected services (power lines, telecommunication lines, pipelines);
- existing or provided protection measures (e.g. protection measures to reduce physical damage and life hazard, protection measures to reduce failure of internal systems);
- scale of the extension of danger (structure with difficulty of evacuation or structure where panic may be created, structure dangerous to the surroundings, structure dangerous to the environment).

Table 1 reports the effects of lightning on various types of structures.

Table 1 – Effects of lightning on typical structures

Type of structure according to function and/or contents	Effects of lightning
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 current path Failure of electrical and electronic equipment and systems installed (e.g. TV sets, computers, modems, telephones, etc.)
Farm building	Primary risk of fire and hazardous step voltages as well as material damage 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, Hotel, 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 archeological sites Church	Loss of irreplaceable cultural heritage
Telecommunications Power plants	Unacceptable loss of services to the public
Firework factory Munition works	Consequences of fire and explosion to the plant and its surroundings
Chemical plant Refinery Nuclear plant Biochemical laboratories and plants	Fire and malfunction of the plant with detrimental consequences to the local and global environment

5.1.2 Sources et types de dommages pour une structure

Le courant de foudre est la source de dommage. Les sources de dommages suivantes doivent être prises en compte selon la situation de l'impact sur la structure:

- S1: éclair frappant directement la structure;
- S2: éclair frappant le sol à proximité de la structure;
- S3: éclair frappant directement les services connectés à la structure;
- S4: éclair frappant le sol à proximité des services connectés à la structure.

Les éclairs frappant directement la structure peuvent provoquer:

- des dommages mécaniques directs, un incendie et/ou une explosion dus au canal de foudre lui-même dus au courant résultant de la chaleur ohmique des conducteurs ou à son courant associé (conducteurs surchauffés) et à sa charge (fusion du métal);
- un incendie et/ou une explosion dus à des étincelles en raison des surtensions de couplage résistif et inductif et à l'écoulement de courants de foudre partiels;
- des blessures pour les personnes par tensions de contact et de pas en raison des couplages résistif et inductif;
- des défaillances ou des dysfonctionnements des réseaux internes dus à l'IEMF.

Les éclairs frappant à proximité de la structure peuvent provoquer:

- des défaillances ou des dysfonctionnements des réseaux internes dus à l'IEMF.

Les éclairs frappant les services connectés à la structure peuvent provoquer:

- un incendie et/ou une explosion dus à des étincelles en raison des surtensions et des courants de foudre transmis par les services connectés à la structure;
- des blessures pour les personnes en raison des surintensités et surtensions transmises par les services connectés à la structure;
- des défaillances ou des dysfonctionnements des réseaux internes en raison des surtensions transmises par les services connectés à la structure.

Les éclairs frappant à proximité des services connectés à la structure peuvent provoquer:

- des défaillances ou des dysfonctionnements des réseaux internes en raison des surtensions transmises par les services connectés à la structure.

NOTE 1 La protection contre les dysfonctionnements des réseaux internes est hors du domaine d'application de la série CEI 62305. Il convient de se référer à la CEI 61000-4-5 [2].

NOTE 2 Seules les étincelles du courant de foudre (partiel ou total) sont considérées comme pouvant être la cause d'un incendie.

NOTE 3 Les coups de foudre directs ou à proximité des canalisations entrantes ne provoquent pas de dommages sur la structure si les canalisations sont reliées à la liaison équipotentielle de la structure (voir la CEI 62305-3).

En conclusion, la foudre peut engendrer trois types essentiels de dommages:

- D1: blessures d'êtres vivants dues aux tensions de contact et de pas;
- D2: dommages physiques (incendie, explosion, destruction mécanique, émanation chimique) dus au courant de foudre, y compris les étincelles dangereuses;
- D3: défaillances des réseaux internes dues à l'IEMF.

5.1.2 Sources and types of damage to a structure

The lightning current is the source of damage. The following situations shall be taken into account, depending on the position of the point of strike relative to the structure considered:

- S1: flashes to the structure;
- S2: flashes near the structure;
- S3: flashes to the services connected to the structure;
- S4: flashes near the services connected to the structure.

Flashes to the structure can cause:

- immediate mechanical damage, fire and/or explosion due to the hot lightning plasma arc itself, due to the current resulting in ohmic heating of conductors (over-heated conductors), or due to the charge resulting in arc erosion (melted metal);
- fire and/or explosion triggered by sparks caused by overvoltages resulting from resistive and inductive coupling and to passage of part of the lightning currents;
- injury to people by step and touch voltages resulting from resistive and inductive coupling;
- failure or malfunction of internal systems due to LEMP.

Flashes near the structure can cause:

- failure or malfunction of internal systems due to LEMP.

Flashes to a service connected to the structure can cause:

- fire and/or explosion triggered by sparks due to overvoltages and lightning currents transmitted through the connected service;
- injury to people due to touch voltages inside the structure caused by lightning currents transmitted through the connected service;
- failure or malfunction of internal systems due to overvoltages appearing on connected lines and transmitted to the structure.

Flashes near a service connected to the structure can cause:

- failure or malfunction of internal systems due to overvoltages induced on connected lines and transmitted to the structure.

NOTE 1 Malfunctioning of internal systems is not covered by the IEC 62305 series. Reference should be made to IEC 61000-4-5 [2].

NOTE 2 Only the sparks carrying lightning current (total or partial) are regarded as able to trigger fire.

NOTE 3 Lightning flashes, direct to or near the incoming pipelines, do not cause damages to the structure, provided that they are bonded to the equipotential bar of the structure (see IEC 62305-3).

As result, the lightning can cause three basic type of damages:

- D1: injury of living beings due to touch and step voltages;
- D2: physical damage (fire, explosion, mechanical destruction, chemical release) due to lightning current effects including sparking;
- D3: failure of internal systems due to LEMP.

5.2 Dommages pour les services

La foudre affectant un service peut entraîner des dommages au service lui-même – ligne ou canalisation – ainsi qu’aux matériels électriques et électroniques lui étant associés.

NOTE Les services à considérer sont des liaisons physiques entre

- le bâtiment de communication et celui de l'utilisateur ou entre deux bâtiments de communication ou deux bâtiments d'utilisateurs, pour les lignes de communication,
- le bâtiment de communication ou le bâtiment de l'utilisateur et un nœud de distribution ou entre deux nœuds de distribution pour les lignes de communication,
- le poste de transformation haute tension et le bâtiment de l'utilisateur pour les lignes de puissance,
- la station principale de distribution et le bâtiment de l'utilisateur pour les canalisations.

L'étendue de cette extension est fonction des caractéristiques de ce service, du type et de l'extension du réseau électrique ou électronique associé et des caractéristiques de l'éclair.

5.2.1 Effets de la foudre sur un service

Les principales caractéristiques d'un service vis-à-vis des effets de la foudre comprennent:

- la construction (ligne aérienne, souterraine, écrantée ou non, fibre optique; canalisation: au-dessus du sol, enterrée, métallique ou plastique);
- la fonction (lignes de communication, lignes de puissance, canalisations);
- la structure concernée (construction, contenu, dimensions, situation);
- les mesures de protection existantes ou prévues (par exemple câbles de garde, para-foudres, redondance des cheminements, stockage des fluides, générateurs, alimentations sans interruption).

Le Tableau 2 donne les effets de la foudre sur divers types de services.

Tableau 2 – Effets de la foudre sur des services typiques

Classification des structures	Effets de la foudre
Ligne de communication	Dommages mécaniques de la ligne, fonte des écrans et des conducteurs, défaillance primaire de l'isolation du câble et des matériels principaux par une première défaillance avec perte immédiate des services Défaillances secondaires des câbles à fibre optique avec des dommages sur le câble, mais sans perte de service
Lignes de puissance	Dommages des isolateurs des lignes aériennes de basse tension, percements de l'isolation des câbles de ligne, défaillance primaire de l'isolation du câble, et du transformateur avec perte consécutive des services
Canalisations d'eau	Dommages des matériels électriques et électroniques de commande susceptibles d'entraîner une perte des services
Canalisations de gaz	Percements des brides non métalliques susceptibles d'entraîner un incendie et/ou une explosion
Canalisations de fuel	Dommages des matériels électriques et électroniques de commande susceptibles d'entraîner une perte des services

5.2.2 Sources et types de dommages pour un service

Le courant de foudre est la source de dommage. Les sources de dommages suivantes doivent être prises en compte selon la situation de l'impact sur la structure.

- S1: éclair frappant directement la structure
- S3: éclair frappant directement les services connectés à la structure;
- S4: éclair frappant le sol à proximité des services connectés à la structure.

5.2 Damage to a service

Lightning affecting a service can cause damage to the physical means itself (line or pipe) used to provide the service, as well as to connected electrical and electronic equipment.

NOTE The service to be considered is the physical connection between

- the switch telecommunication building and the user's building or two switch telecommunication buildings or two users' buildings, for the telecommunication (TLC) lines,
- the switch telecommunication building or the user's building and a distribution node, or two distribution nodes for the telecommunication (TLC) lines,
- the high voltage (HV) substation and the user's building, for the power lines,
- the main distribution station and the user's building, for pipes.

The scale of this extension depends on the characteristics of the service, on the type and extension of the electrical and electronic systems and on the characteristics of the lightning flash.

5.2.1 Effects of lightning on a service

The main characteristics of services relevant to lightning effects include:

- construction (line: overhead, underground, screened, unscreened, fibre optic; pipe: above ground, buried, metallic, plastic);
- function (telecommunication line, power line, pipeline);
- structure supplied (construction, contents, dimensions, location);
- existing or provided protection measures (e.g. shielding wire, SPD, route redundancy, fluid storage systems, generating sets, uninterruptible power systems).

Table 2 reports the effects of lightning on various types of services.

Table 2 – Effects of lightning on typical services

Type of service	Effects of lightning
Telecommunication line	Mechanical damage to line, melting of screens and conductors, breakdown of insulation of cable and equipment leading to a primary failure with immediate loss of service Secondary failures on the optical fibre cables with damage of the cable but without loss of service
Power lines	Damages to insulators of low voltage overhead line, puncturing of insulation of cable line, breakdown of insulation of line equipment and of transformers, with consequential loss of service
Water pipes	Damages to electrical and electronic control equipments likely to cause loss of service
Gas pipes Fuel pipes	Puncturing of non-metallic flange gaskets likely to cause fire and/or explosion. Damage to electrical and electronic control equipments likely to cause loss of service

5.2.2 Sources and types of damage to a service

The lightning current is the source of damage. The following situations shall be taken into account, depending on the position of the point of strike relative to the service considered:

- S1: flashes to the supplied structure;
- S3: flashes to the service connected to the structure;
- S4: flashes near the service connected to the structure.

Les éclairs frappant la structure peuvent provoquer:

- la fusion des conducteurs et des écrans des lignes due à la circulation du courant de foudre dans les lignes (résultant de l'échauffement résistif);
- la rupture de l'isolement des lignes et de leurs matériels associés(résultant du couplage résistif)
- perforation des joints non métalliques des brides des canalisations et des garnitures des joints isolants.

NOTE 1 Les câbles à fibres optiques sans conducteur métallique ne sont pas sensibles aux coups de foudre frappant la structure alimentée.

Les éclairs frappant directement les services connectés à la structure peuvent provoquer:

- un dommage mécanique direct des câbles métalliques et des canalisations dû à une contrainte électrodynamique ou à des échauffements dus au courant de foudre (rupture et/ou fusion des câbles métalliques, des écrans et des canalisations) et, en raison de la chaleur de l'arc de plasma de foudre lui-même (perforation sur une enveloppe plastique);
- un dommage électrique direct des lignes (rupture de l'isolation) et des matériels associés;
- perforation des canalisations métalliques aériennes de faible épaisseur et des brides non métalliques avec pour conséquences l'extension de l'incendie et de l'explosion en fonction de la nature du fluide circulant.

Les éclairs frappant le sol à proximité des services connectés à une structure peuvent provoquer:

- la rupture de l'isolation des lignes et de leurs matériels associés due à un couplage inductif (surtensions induites).

NOTE 2 Les câbles à fibres optiques sans conducteur métallique ne sont pas sensibles aux coups de foudre frappant le sol.

En conclusion, la foudre peut engendrer deux types essentiels de dommages:

- D2: dommages physiques (incendie, explosion, destruction mécanique, émanation chimique) et effets thermiques dus au courant de foudre,
- D3: défaillances des réseaux de puissance et de communication dues aux surtensions.

5.3 Types de pertes

Chaque type de dommage, seul ou associé, peut entraîner des pertes différentes dans une structure ou sur un service. Le type de perte dépend des caractéristiques de la structure et du service.

Pour les besoins de la présente norme, les types de pertes suivants sont considérés:

- L1: perte de vie humaine;
- L2: perte de service public;
- L3: perte d'héritage culturel;
- L4: perte «économique (structure et son contenu, services et perte d'activité).

Les pertes L1, L2 et L3 peuvent être considérées comme des pertes sociales, tandis que L4 est considérée comme perte purement économique.

Les pertes pouvant apparaître dans une structure sont les suivantes:

- L1: perte de vie humaine;
- L2: perte de service public;

Flashes to the supplied structure can cause:

- melting of metallic wires and of cable screens due to parts of the lightning current flowing into the services (resulting from resistive heating);
- breakdown of insulation of lines and of the connected equipments (due to the resistive coupling);
- puncturing of non-metallic gaskets in flanges of pipes, as well as gaskets in insulating joints.

NOTE 1 Optical fibre cable without metallic conductor are not affected by lightning flashes striking the supplied structure.

Flashes to a service connected to the structure can cause:

- immediate mechanical damage of metallic wires or piping due to electrodynamic stress or heating effects caused by lightning current (breaking and/or melting of metallic wires, screens or piping), and due to the heat of the lightning plasma arc itself (puncturing of plastic protective cover);
- immediate electrical damage of lines (breakdown of insulation) and of connected equipment;
- puncturing of thin overhead metallic pipes and of non-metallic gaskets in flanges, where consequences may extend to fire and explosion depending on the nature of conveyed fluids.

Flashes near a service connected to the structure can cause:

- breakdown of insulation of lines and of the connected equipments due to inductive coupling (induced overvoltages).

NOTE 2 Optical fibre cable without metallic conductors are not affected by lightning flashes striking the ground.

As a result, the lightning can cause two basic type of damage:

- D2: physical damage (fire, explosion, mechanical destruction, chemical release) due to thermal effects of lightning current
- D3: failure of electrical and electronic systems due to overvoltages.

5.3 Types of loss

Each type of damage, alone or in combination with others, may produce different consequential loss in the object to be protected. The type of loss that may appear depends on the characteristics of the object itself.

For the purposes of this standard the following types of loss are considered:

- L1: loss of human life;
- L2: loss of service to the public;
- L3: loss of cultural heritage;
- L4: loss of economical value (structure and its content, service and loss of activity).

Loss of type L1, L2 and L3 may be considered as loss of social values, whereas loss of type L4 may be considered as purely economical loss.

Losses which may appear in a structure are as follows:

- L1: loss of human life;
- L2: loss of service to the public;

- L3: perte d'héritage culturel;
- L4: perte «économique (structure et son contenu).

Les pertes pouvant apparaître dans un service sont les suivantes:

- L2: perte de service public;
- L4: perte «économique (structure et son contenu, services et perte d'activité).

NOTE Dans un service, la perte de vie humaine n'est pas considérée dans la présente norme.

La correspondance entre les sources de dommages, les types de dommages et les pertes est indiquée dans le Tableau 3 pour les structures et dans le Tableau 4 pour les services.

Tableau 3 – Dommages et pertes en divers points d'impact de la foudre

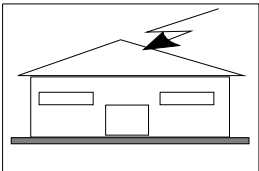
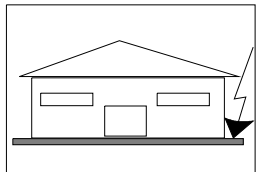
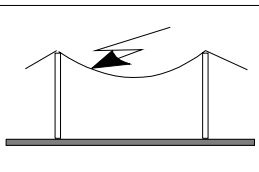
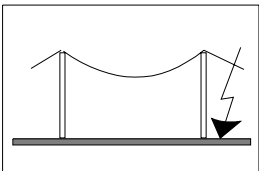
Point d'impact		Source de dommage	Type de dommage	Type de perte
Structure		S1	D1 D2 D3	L1, L4** L1, L2, L3, L4 L1*, L2, L4
Proche de la structure		S2	D3	L1*, L2, L4
Service pénétrant dans la structure		S3	D1 D2 D3	L1, L4** L1, L2, L3, L4 L1*, L2, L4
Proche d'un service		S4	D3	L1*, L2, L4
<p>* Seulement pour des structures avec risque d'explosion et pour les hôpitaux ou autres structures analogues dont la défaillance des réseaux internes met en danger la vie humaine.</p> <p>** Seulement dans le cas de perte d'animaux.</p>				

Tableau 4 – Dommages et pertes dans un service selon les points d'impact de la foudre

Point d'impact	Source de dommage	Type de dommage	Type de perte
Sur le service	S3	D2 D3	L2, L4
A proximité du service	S4	D3	
Sur la structure alimentée	S1	D2 D3	

- L3: loss of cultural heritage
- L4: loss of economic value (structure and its content).

Losses which may appear in a service are as follows:

- L2: loss of service to the public;
- L4: loss of economic value (service and loss of activity).

NOTE In a service, loss of human life is not considered in this standard.

The relationship between source of damage, type of damage and loss is reported in Table 3 for structures and in Table 4 for services.

Table 3 – Damages and loss in a structure according to different points of strike of lightning

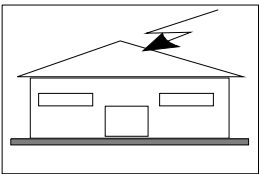
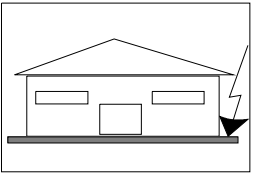
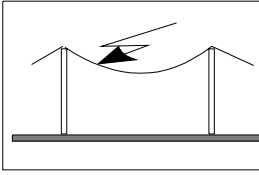
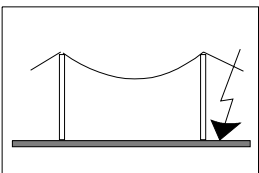
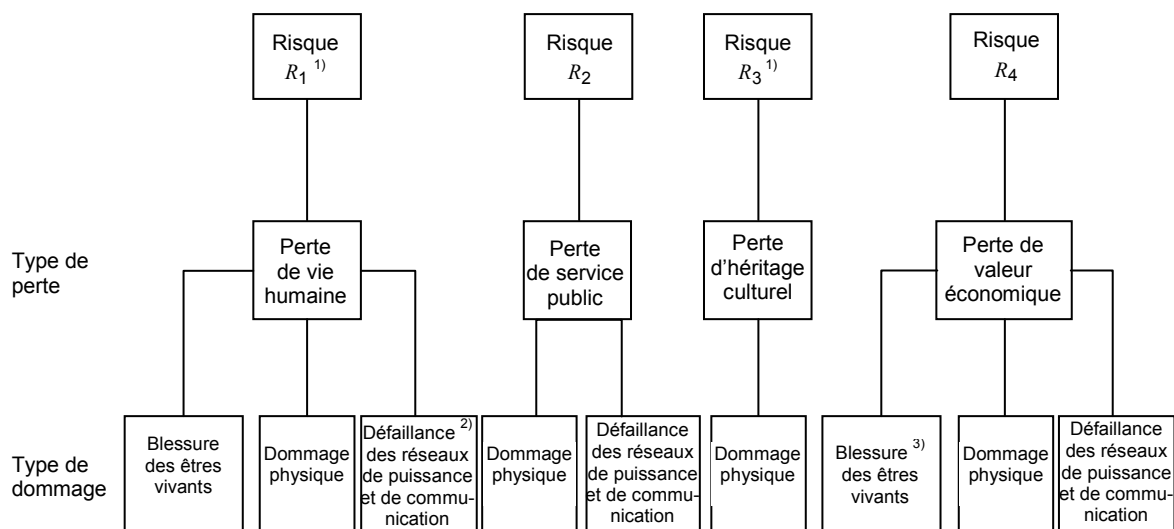
Point of strike		Source of damage	Type of damage	Type of loss
Structure		S1	D1 D2 D3	L1, L4** L1, L2, L3, L4 L1*, L2, L4
Near a structure		S2	D3	L1*, L2, L4
Service connected to the structure		S3	D1 D2 D3	L1, L4** L1, L2, L3, L4 L1*, L2, L4
Near a service		S4	D3	L1*, L2, L4
* Only for structures with risk of explosion and for hospitals or other structures where failure of internal systems immediately endangers human life.				
** Only for properties where animals may be lost.				

Table 4 – Damages and loss in a service according to different points of strike of lightning

Point of strike	Source of damage	Type of damage	Type of loss
Service	S3	D2 D3	L2, L4
Near the service	S4	D3	
Supplied structure	S1	D2 D3	

Les types de pertes en fonction des types de dommages et risques correspondants sont donnés à la Figure 1.



IEC 2061/05

¹⁾ Seulement pour les structures.

²⁾ Seulement pour les hôpitaux et autres structures analogues où les défaillances des réseaux internes mettent en danger immédiat la vie humaine.

³⁾ Seulement dans le cas de pertes d'animaux.

Figure 1 – Types de pertes et risques correspondants dus à différents types de dommages

6 Nécessité et besoin économique d'une protection contre la foudre

6.1 Nécessité d'une protection contre la foudre

Le besoin d'une protection contre la foudre pour une structure ou un service doit être évalué afin de réduire les valeurs sociales L1, L2 et L3.

Afin de déterminer le besoin ou non d'une protection contre la foudre d'un objet, une évaluation du risque doit être faite conformément aux méthodes données dans la CEI 62305-2. Les types de risques suivants doivent être pris en compte en fonction des types de pertes définis en 5.3:

- R_1 : risque de perte de vie humaine;
- R_2 : risque de perte de service public;
- R_3 : risque de perte d'héritage culturel.

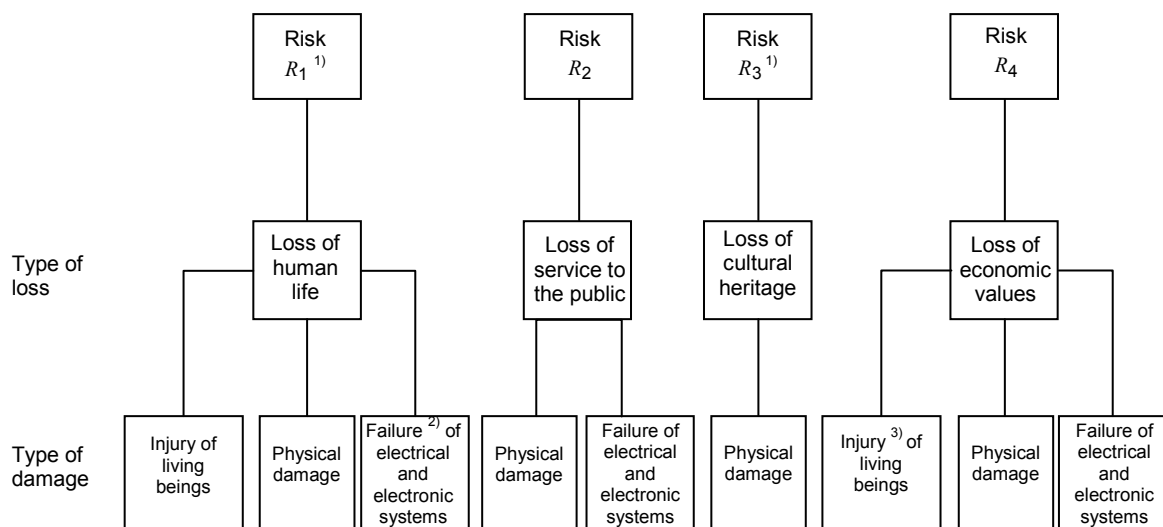
La protection contre la foudre est nécessaire si le risque R (R_1 à R_3) est supérieur au niveau de risque tolérable R_T

$$R > R_T$$

Dans ce cas, des mesures de protection doivent être appliquées afin de réduire le risque R (R_1 à R_3) à la valeur du risque tolérable R_T .

$$R \leq R_T$$

Types of loss resulting from types of damage and the corresponding risks are reported in Figure 1.



¹⁾ Only for structures.

²⁾ Only for hospitals or other structures where failure on internal systems immediately endanger human life.

³⁾ Only for properties where animals may be lost.

Figure 1 – Types of loss and corresponding risks resulting from different types of damage

6 Need and economic convenience for lightning protection

6.1 Need for lightning protection

The need for lightning protection of an object to be protected in order to reduce the loss of social values L1, L2 and L3 shall be evaluated.

In order to evaluate whether or not lightning protection of an object is needed, a risk assessment in accordance with the procedures contained in IEC 62305-2 shall be made. The following risks shall be taken into account, corresponding to the types of loss reported in 5.3:

- R_1 : risk of loss of human life;
- R_2 : risk of loss of services to the public;
- R_3 : risk of loss of cultural heritage.

Protection against lightning is needed if the risk R (R_1 to R_3) is higher than the tolerable level R_T

$$R > R_T$$

In this case, protection measures shall be adopted in order reduce the risk R (R_1 to R_3) to the tolerable level R_T

$$R \leq R_T$$

Si plus d'un type de perte peut apparaître dans une structure ou un service, la condition $R \leq R_T$ doit être satisfaite pour chaque type de perte (L1, L2 et L3).

Les valeurs de risque tolérable R_T aboutissant à la perte de valeurs sociales sont de la responsabilité des organisations nationales concernées.

NOTE 1 Une autorité compétente peut spécifier le besoin d'une protection contre la foudre pour des applications particulières sans recourir à une méthode d'évaluation du risque. Dans ce cas, le niveau de protection sera prescrit par cette autorité. Parfois, une évaluation du risque peut être une technique de justification de ces exigences.

NOTE 2 Des informations plus complètes sur l'évaluation du risque et sur les méthodes de choix des mesures de protection sont données dans la CEI 62305-2.

6.2 Besoin économique d'une protection contre la foudre

En complément d'une protection contre la foudre pour une structure ou un service, il peut être utile d'évaluer les bénéfices économiques des mesures de protection afin de réduire la perte économique L4.

Dans ce cas, il convient d'évaluer le risque R_4 de perte de valeurs économiques. L'évaluation du risque R_4 permet le calcul du coût des pertes économiques avec et sans les mesures de protection.

La protection contre la foudre est efficace si la somme du coût C_{RL} des pertes résiduelles en présence des mesures de protection et du coût C_{PM} des mesures de protection est inférieure au coût total C_L des pertes sans mesures de protection.

$$C_{RL} + C_{PM} < C_L$$

NOTE Des informations plus complètes sur l'évaluation du besoin économique de protection sont données dans la CEI 62305-2.

7 Mesures de protection

Des mesures de protection peuvent être prises pour réduire le risque conformément au type de dommage.

7.1 Mesures de protection pour réduire les blessures des personnes dues aux tensions de contact et de pas

Les mesures de protection possibles comprennent:

- une isolation appropriée des éléments conducteurs exposés;
- une équipotentialité par un réseau de terre maillé;
- des restrictions physiques et des panneaux d'avertissement.

NOTE 1 Une liaison équipotentielle n'est pas efficace contre les tensions de contact.

NOTE 2 Une augmentation de la résistivité de surface du sol dans et à l'extérieur de la structure peut réduire le risque de mort (voir la CEI 62305-3, Article 8).

7.2 Mesures de protection pour réduire les dommages physiques

Les mesures de protection possibles comprennent:

- a) pour les structures
 - système de protection contre la foudre (SPF);

If more than one type of loss could appear in the object to be protected, the condition $R \leq R_T$ shall be satisfied for each type of loss (L1, L2 and L3).

The values of tolerable risk R_T where lightning could result in the loss of items of social value should be under the responsibility of a competent national body.

NOTE 1 An authority having jurisdiction may specify the need for lightning protection for specific applications without requiring a risk assessment. In these cases, the required lightning protection level will be specified by the authority having jurisdiction. In some cases, a risk assessment may be performed as a technique by which to justify a waiver to these requirements.

NOTE 2 Detailed information on risk assessment and on the procedure for selection of protection measures is reported in IEC 62305-2.

6.2 Economic convenience of lightning protection

Besides the need for lightning protection for the object to be protected, it may be useful to evaluate the economic benefits of providing protection measures in order to reduce the economic loss L4.

In this case, the risk R_4 of loss of economic values should be assessed. The assessment of risk R_4 allows the evaluation of the cost of the economic loss with and without the adopted protection measures.

Lightning protection is cost effective if the sum of the cost C_{RL} of residual loss in presence of protection measures and the cost C_{PM} of protection measures is lower than the cost C_L of total loss without protection measures:

$$C_{RL} + C_{PM} < C_L$$

NOTE Detailed information on the evaluation of economic convenience of lightning protection is reported in IEC 62305-2.

7 Protection measures

Protection measures may be adopted in order to reduce the risk according to the type of damage.

7.1 Protection measures to reduce injury of living beings due to touch and step voltages

Possible protection measures include:

- adequate insulation of exposed conductive parts;
- equipotentialization by means of a meshed earthing system;
- physical restrictions and warning notices.

NOTE 1 Equipotentialization is not effective against touch voltages.

NOTE 2 An increase of the surface resistivity of the soil inside and outside the structure may reduce the life hazard (see Clause 8 of IEC 62305-3).

7.2 Protection measures to reduce physical damage

Possible protection measures include:

- a) for structures
 - lightning protection system (LPS)

NOTE 1 Si un SPF est installé, l'équipotentialité est une mesure très importante pour réduire les risques d'incendie, d'explosion et de mort. L'équipotentialité est réalisée par des conducteurs ou des parafoudres lorsque les conducteurs ne sont pas admis. Pour plus d'informations, voir la CEI 62305-3.

NOTE 2 Des dispositions limitant le développement et la propagation d'un incendie telles que compartiments étanches, extincteurs, hydratants, installations de détection et d'extinction d'incendie, peuvent réduire les dommages physiques.

NOTE 3 Des chemins d'évacuation protégés assurent la protection des personnes.

b) pour les services:

- écran

NOTE 4 Pour les câbles enterrés, une protection très efficace est réalisée par des conduits métalliques.

7.3 Mesures de protection pour réduire les défaillances des réseaux de puissance et de communication

Les mesures de protection possibles comprennent:

a) pour les structures

- un système de protection contre l'IMF comprenant les mesures suivantes à utiliser seules ou en association:
 - mise à la terre et équipotentialités;
 - écran magnétique;
 - cheminement des réseaux;
 - parafoudres associés.

b) pour les services

- des parafoudres en divers emplacements sur le parcours des services et aux extrémités;
- des écrans magnétiques des câbles.

NOTE 1 Pour les câbles enterrés, une protection très efficace est réalisée par des conduits métalliques d'épaisseur appropriée.

NOTE 2 La redondance des parcours, des matériels, des générateurs de puissance indépendants, des alimentations sans interruption, des systèmes de stockage des fluides, des systèmes automatiques de détection de défauts, etc. sont des mesures de protection efficaces de réduction des pertes d'activité des services.

NOTE 3 Une tenue aux chocs plus élevée des matériels et des câbles est une mesure de protection efficace contre les défaillances dues aux surtensions.

7.4 Choix des mesures de protection

Le choix des mesures de protection les plus appropriées doit être fait par le concepteur et le propriétaire en tenant compte du type et du coût de chaque dommage, des aspects techniques et économiques des diverses mesures de protection.

Les critères pour l'analyse du risque et pour le choix des mesures les plus appropriées sont donnés dans la CEI 62305-2.

Les mesures de protection sont efficaces si elles satisfont aux exigences des normes applicables et sont aptes à résister aux contraintes à l'emplacement dans l'installation.

8 Critère de base pour la protection des structures et des services

Les critères idéaux pour la protection des structures et des services serait d'enfermer la structure ou le service dans un écran parfaitement conducteur mis à la terre d'épaisseur appropriée, et de réaliser la liaison à l'écran des services au point de pénétration dans la structure.

NOTE 1 When a LPS is installed, equipotentialization is a very important measure to reduce fire and explosion danger and life hazard. For more details see IEC 62305-3.

NOTE 2 Provisions limiting the development and propagation of the fire such as fire-proof compartments, extinguishers, hydrants, fire alarm and fire extinguishing installations, may reduce physical damage.

NOTE 3 Protected escape routes provide protection for personnel.

b) for services

- shielding wire

NOTE 4 For buried cables, a very effective protection is given by metal ducts.

7.3 Protection measures to reduce failure of electrical and electronic systems

Possible protection measures include:

a) for structures

- LEMP protection measures system (LPMS) consisting of the following measures to be used alone or in combination:
 - earthing and bonding measures;
 - magnetic shielding;
 - line routing;
 - “coordinated SPD protection” .

b) for services

- surge protective devices (SPDs) at different locations along the length of the line and at the line termination;
- magnetic shields of cables.

NOTE 1 For buried cables, very effective protection is provided by a continuous metallic screen of adequate thickness.

NOTE 2 Route redundancy, redundant equipment, autonomous power generating sets, uninterruptible power systems, fluid storage systems, and automatic failure detection system are effective protection measures to reduce the loss of activity of the service.

NOTE 3 An increased withstand voltage of insulation of equipment and cables is an effective protection measure against failure due to overvoltages.

7.4 Protection measures selection

The selection of the most suitable protection measures shall be made by the designer and the owner according to the type and the amount of each kind of damage, and according to the technical and economical aspects of the different protection measures.

The criteria for risk assessment and for selection of the most suitable protection measures are given in IEC 62305-2.

Protection measures are effective provided that they comply with the requirements of relevant standards and are able to withstand the stress expected in the place of its installation.

8 Basic criteria for protection of structures and services

An ideal protection for structures and services would be to enclose the object to be protected within an earthed and perfectly conducting continuous shield of adequate thickness, and by providing adequate bonding, at the entrance point into the shield, of the services connected to the structure.

Ainsi, il serait possible d'empêcher la pénétration du courant de foudre et du champ électromagnétique associé dans la structure à protéger afin d'éviter des effets thermiques et électrodynamiques du courant, ainsi que des étincelles dangereuses et des surtensions pour les réseaux internes.

En pratique, il est souvent ni possible ni faisable à coût réduit d'obtenir de telles longueurs assurant une telle protection maximale.

La discontinuité de l'écran et/ou son épaisseur non appropriée permet la pénétration du courant de foudre entraînant:

- des dommages physiques et des risques de mort;
- des défaillances des réseaux internes;
- des défaillances des services et des réseaux associés.

Les mesures de protection adoptées pour réduire ces dommages et les pertes consécutives doivent être prises pour le domaine des paramètres du courant de foudre prévu relatif au niveau de protection.

8.1 Niveaux de protection contre la foudre (NPF)

Pour les besoins de la présente norme, quatre niveaux de protection sont définis: I, II, III et IV. Pour chaque niveau de protection, des paramètres minimaux et maximaux de courant de foudre sont définis.

NOTE 1 La protection contre la foudre dont les paramètres minimaux et maximaux de courant de foudre dépassent ceux du niveau de protection I ne sont pas considérés dans la présente norme.

NOTE 2 La probabilité d'apparition de coup de foudre dont les paramètres minimaux et maximaux de courant de foudre dépassent ceux du niveau de protection I est inférieure à 2 %.

Pour le Niveau de protection I, les valeurs maximales des paramètres du courant ne seront pas dépassées, avec une probabilité de 99 %. Selon le rapport de polarité (voir Article A.2), les valeurs issues des coups positifs auront des probabilités inférieures à 10 %, celles issues des coups négatifs inférieures à 1 % (voir Article A.3).

Les valeurs maximales du Niveau de protection I sont réduites de 75 % pour le Niveau II et de 50 % pour les Niveaux III et IV (linéaires pour I , Q et di/dt , quadratiques pour W/R). Les paramètres temporels sont inchangés.

Les valeurs maximales des paramètres du courant de foudre pour les différents niveaux de protection sont données dans le Tableau 5 et sont utilisées pour la conception des composants de protection contre la foudre (par exemple section des conducteurs, épaisseur des feuilles de métal, tenue au courant des parafoudres, distances de séparation des étincelles dangereuses) et pour définir les paramètres d'essai de simulation des effets de la foudre sur ces composants (voir Annexe D).

Les valeurs minimales du courant de foudre pour les divers niveaux de protection sont utilisés pour en déduire le rayon de la sphère fictive (voir Article A.4) afin de définir la zone de protection contre la foudre ZPF θ_B qui ne peut être atteinte par un coup de foudre direct (voir 8.2 et Figures 2 et 3). Les valeurs minimales des paramètres du courant de foudre associées au rayon de la sphère fictive sont données dans le Tableau 6. Elles sont utilisées pour l'emplacement des dispositifs de capture et pour définir la zone de protection ZPF θ_B (voir 8.2).

This would prevent the penetration of lightning current and related electromagnetic field into the object to be protected and prevent dangerous thermal and electrodynamic effects of current, as well as dangerous sparkings and overvoltages for internal systems.

In practice, it is often neither possible nor cost effective to go to such lengths to provide such optimum protection.

Lack of continuity of the shield and/or its inadequate thickness allows the lightning current to penetrate the shield causing:

- physical damage and life hazard
- failure of internal systems
- failure of the service and of the connected systems.

Protection measures, adopted to reduce such damages and relevant consequential loss, shall be designed for the defined set of lightning current parameters against which protection is required (lightning protection level).

8.1 Lightning protection levels (LPL)

For the aim of this standard, four lightning protection levels (I to IV) are introduced. For each LPL a set of maximum and minimum lightning current parameters is fixed.

NOTE 1 Protection against lightning whose maximum and minimum lightning current parameters exceed those relevant to LPL I is not considered in this standard.

NOTE 2 The probability of occurrence of lightning with minimum or maximum current parameters outside the range of values defined for LPL I is less than 2 %.

The maximum values of lightning current parameters relevant to LPL I will not be exceeded, with a probability of 99 %. According to the polarity ratio assumed (see Clause A.2), values taken from positive flashes will have probabilities below 10 %, while those from negative flashes will remain below 1 % (see Clause A.3).

The maximum values of lightning current parameters relevant to LPL I are reduced to 75 % for LPL II and to 50 % for LPL III and IV (linear for I , Q and di/dt , but quadratic for W/R). The time parameters are unchanged.

The maximum values of lightning current parameters for the different lightning protection levels are given in Table 5 and are used to design lightning protection components (e.g. cross-section of conductors, thickness of metal sheets, current capability of SPDs, separation distance against dangerous sparking) and to define test parameters simulating the effects of lightning on such components (see Annex D).

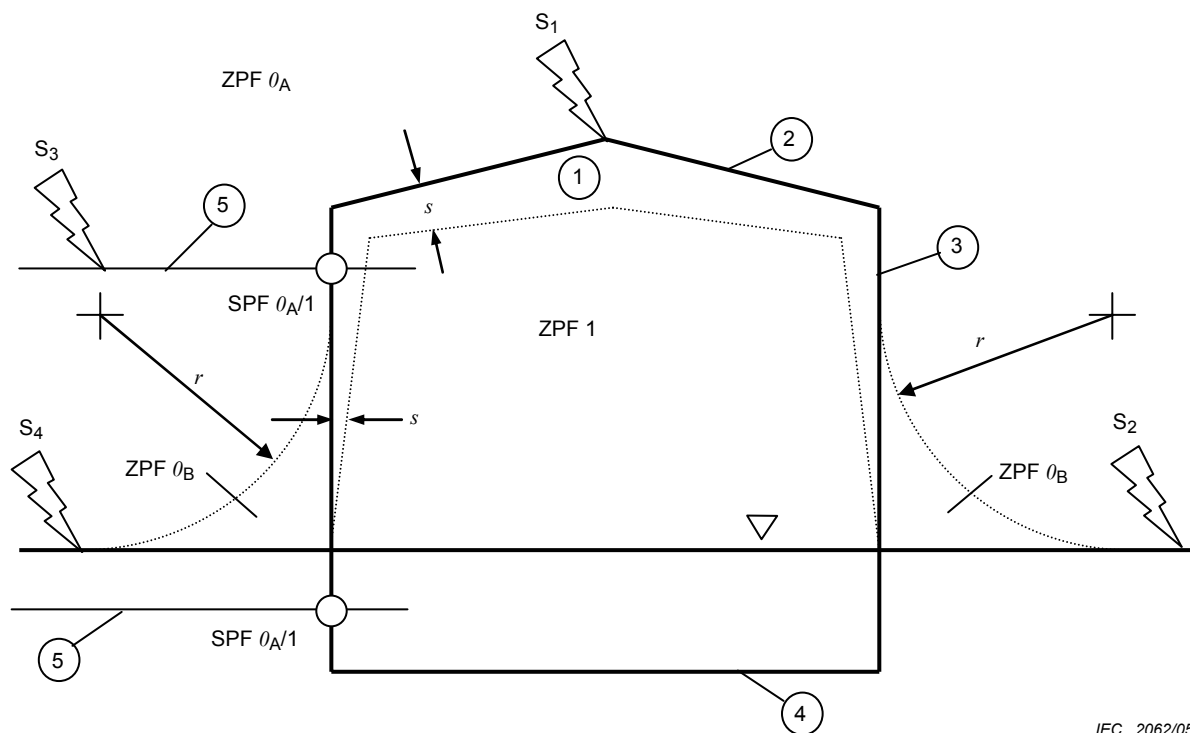
The minimum values of lightning current amplitude for the different LPL are used to derive the rolling sphere radius (see Clause A.4) in order to define the lightning protection zone LPZ 0_B which cannot be reached by direct strike (see 8.2 and Figures 2 and 3). The minimum values of lightning current parameters together with the related rolling sphere radius are given in Table 6. They are used for positioning of the air-termination system and to define the lightning protection zone LPZ 0_B (see 8.2).

Tableau 5 – Valeurs maximales des paramètres de foudre correspondant aux niveaux de protection contre la foudre

Premier choc court			Niveau de protection			
Paramètres du courant	Symbole	Unité	I	II	III	IV
Courant crête	I	kA	200	150	100	
Charge du choc court	Q_{short}	C	100	75	50	
Energie spécifique	W/R	MJ/Ω	10	5,6	2,5	
Paramètres de temps	T_1/T_2	μs/μs	10 / 350			
Choc court consécutif			Niveau de protection			
Paramètres du courant	Symbole	Unité	I	II	III	IV
Courant crête	I	kA	50	37,5	25	
Raideur moyenne	di/dt	kA/μs	200	150	100	
Paramètres de temps	T_1/T_2	μs/μs	0,25 / 100			
Choc long			Niveau de protection			
Paramètres du courant	Symbole	Unité	I	II	III	IV
Charge du choc long	Q_{long}	C	200	150	100	
Paramètre de temps	T_{long}	s	0,5			
Eclair			Niveau de protection			
Paramètres du courant	Symbole	Unité	I	II	III	IV
Charge éclair	Q_{flash}	C	300	225	150	

Table 5 – Maximum values of lightning parameters according to LPL

First short stroke			LPL			
Current parameters	Symbol	Unit	I	II	III	IV
Peak current	I	kA	200	150	100	
Short stroke charge	Q_{short}	C	100	75	50	
Specific energy	W/R	MJ/ Ω	10	5,6	2,5	
Time parameters	T_1/T_2	$\mu\text{s}/\mu\text{s}$	10 / 350			
Subsequent short stroke			LPL			
Current parameters	Symbol	Unit	I	II	III	IV
Peak current	I	kA	50	37,5	25	
Average steepness	di/dt	kA/ μs	200	150	100	
Time parameters	T_1/T_2	$\mu\text{s}/\mu\text{s}$	0,25 / 100			
Long stroke			LPL			
Current parameters	Symbol	Unit	I	II	III	IV
Long stroke charge	Q_{long}	C	200	150	100	
Time parameter	T_{long}	s	0,5			
Flash			LPL			
Current parameters	Symbol	Unit	I	II	III	IV
Flash charge	Q_{flash}	C	300	225	150	



IEC 2062/05

- | | | | |
|---|-------------------------|-----|--|
| 1 | Structure | S1 | Impact sur la structure |
| 2 | Dispositif de capture | S2 | Impact près de la structure |
| 3 | Conducteurs de descente | S3 | Impact sur un service connecté à la structure |
| 4 | Prise de terre | S4 | Impact près d'un service connecté à la structure |
| 5 | Services entrants | r | Rayon de la sphère fictive |
| | | s | Distance de séparation pour éviter une perforation |

- ▽ Niveau du sol
- Liaison équipotentielle de foudre au moyen d'un parafoudre

Coups de foudre directs. Courant de foudre total

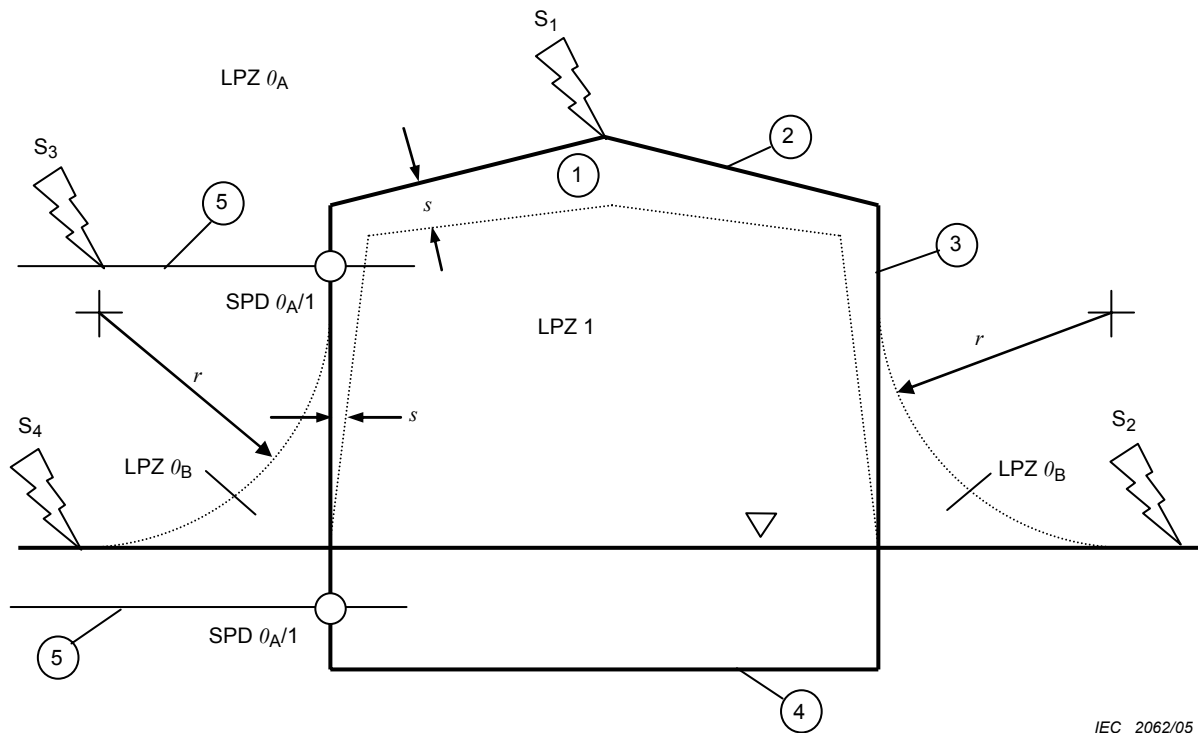
ZPF O_A Coups de foudre directs. Courant de foudre total

ZPF O_B Pas de coups de foudre directs. Courant de foudre partiel ou courant induit

ZPF 1 Pas de coups de foudre directs. Courant de foudre limité ou courant induit

Il faut que la zone protégée dans la ZPF1 respecte la distance de séparation s

Figure 2 – Zones de protection contre la foudre (ZPF) définies par un SPF (CEI 62305-3)



IEC 2062/05

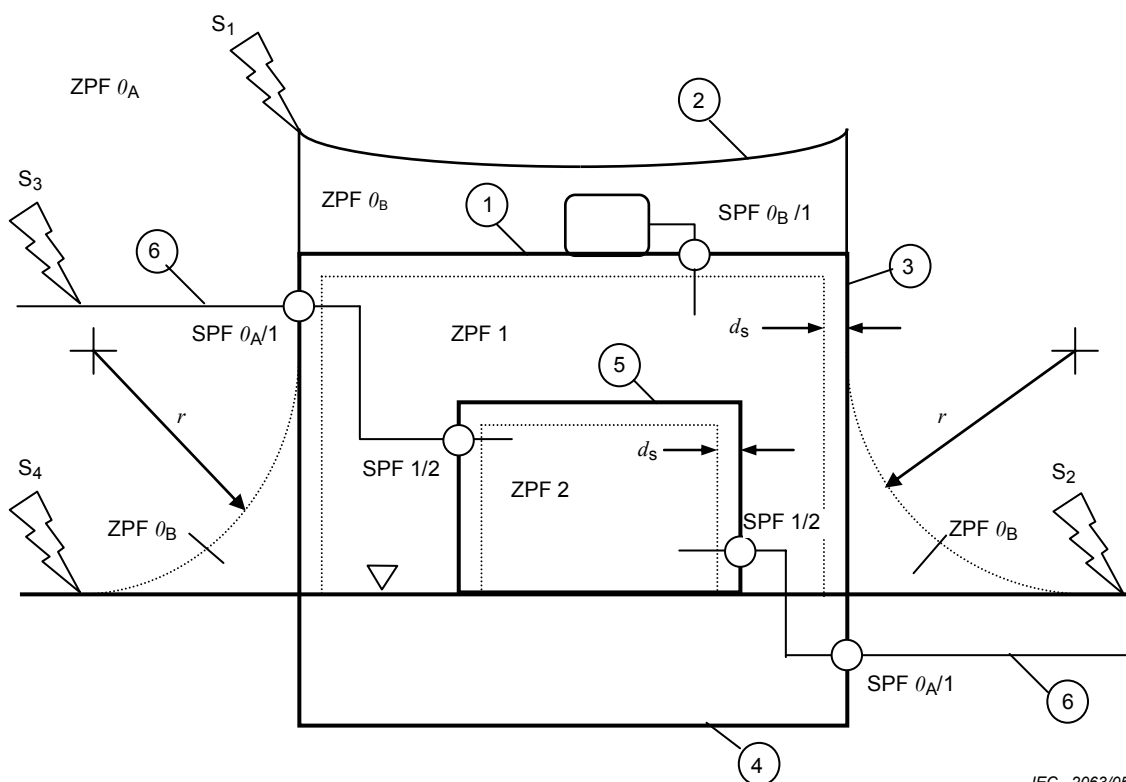
- | | | | |
|---|--------------------------|-----|---|
| 1 | Structure | S1 | Flash to the structure |
| 2 | Air termination system | S2 | Flash near to the structure |
| 3 | Down conductor system | S3 | Flash to a service connected to the structure |
| 4 | Earth termination system | S4 | Flash near a service connected to the structure |
| 5 | Incoming services | r | Rolling sphere radius |
| | | s | Separation distance against dangerous sparging |

- ▽ Ground level
- Lightning equipotential bonding by means of SPD

Direct flash, full lightning current

- LPZ 0_A Direct flash, full lightning current
 - LPZ 0_B No direct flash, partial lightning or induced current
 - LPZ 1 No direct flash, limited lightning or induced current
- Protected volume inside LPZ 1 must respect separation distance s

Figure 2 – LPZ defined by an LPS (IEC 62305-3)



IEC 2063/05

- | | | | |
|---|------------------------------------|----|---|
| 1 | Structure (écran du ZPF 1) | S1 | Impact sur la structure |
| 2 | Dispositif de capture | S2 | Impact à proximité de la structure |
| 3 | Conducteur de descente | S3 | Impact sur un service connecté à la structure |
| 4 | Prise de terre | S4 | Impact à proximité d'un service connecté à la structure |
| 5 | Services entrants (écran du ZPF 2) | r | Rayon de la sphère fictive |
| 6 | Services connectés à la structure | ds | Distance de sécurité contre un étincelage dangereux |

▽ Niveau du sol

○ Liaison équipotentielle de foudre au moyen d'un parafoudre

ZPF 0A Coups de foudre directs, courant de foudre plein, champ magnétique plein

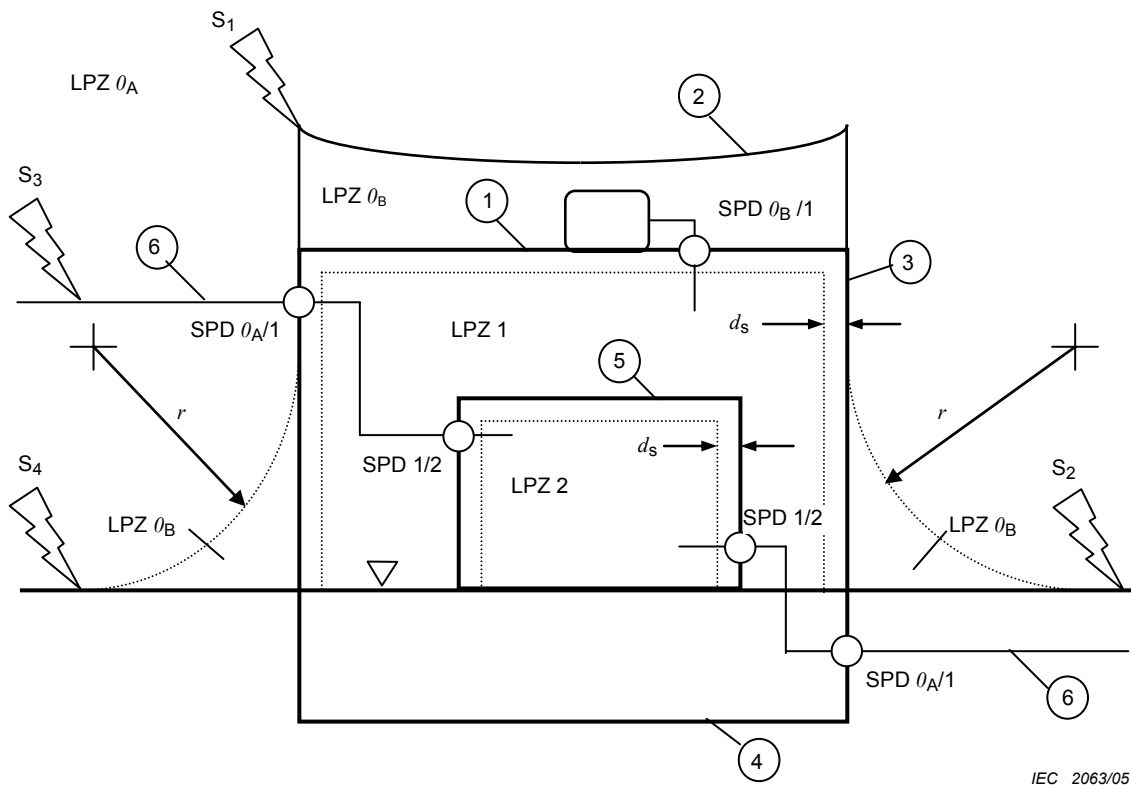
ZPF 0B Pas de coups de foudre directs, courant de foudre partiel ou courant induit, champ magnétique plein

ZPF 1 Pas de coups de foudre directs, courant de foudre limité ou courant induit, champ magnétique atténué

ZPF 2 Pas de coups de foudre directs, courant de foudre partiel ou courant induit

Il faut que les volumes protégés dans les ZPF 1 et ZPF 2 respecte une distance de sécurité d_s

Figure 3 – ZPF définies par les mesures de protection contre l'IEMF (CEI 62305-4)



IEC 2063/05

- | | | | |
|---|-------------------------------------|----------------------|---|
| 1 | Structure (shield of LPZ 1) | S1 | Flash to the structure |
| 2 | Air termination system | S2 | Flash near to the structure |
| 3 | Down conductor system | S3 | Flash to a service connected to the structure |
| 4 | Earth termination system | S4 | Flash near a service connected to the structure |
| 5 | Room (shield of LPZ 2) | <i>r</i> | Rolling sphere radius |
| 6 | Services connected to the structure | <i>d_s</i> | Safety distance against too high magnetic field |

▽ Ground level

○ Lightning equipotential bonding by means SPD

LPZ *O_A* Direct flash, full lightning current, full magnetic field

LPZ *O_B* No direct flash, partial lightning or induced current, full magnetic field

LPZ 1 No direct flash, limited lightning or induced current, damped magnetic field

LPZ 2 No direct flash, induced currents, further damped magnetic field

Protected volumes inside LPZ 1 and LPZ 2 must respect safety distances *d_s*

Figure 3 – LPZ defined by protection measures against LEMP (IEC 62305-4)

Tableau 6 – Valeurs minimales des paramètres de foudre et rayon de sphère fictive associé correspondant aux niveaux de protection

Critère d'interception			Niveau de protection			
	Symbole	Unité	I	II	III	IV
Courant crête minimal	<i>I</i>	kA	3	5	10	16
Rayon sphère fictive	<i>r</i>	m	20	30	45	60

A partir de la distribution statistique donnée à la Figure A.5, une probabilité moyenne peut être définie, les paramètres du courant de foudre étant plus petits que les valeurs maximales et respectivement plus élevés que les valeurs minimales définies pour chaque niveau de protection (voir Tableau 7).

Tableau 7 – Probabilités des limites des paramètres du courant de foudre

Probabilité pour que les paramètres de foudre soient	Niveau de protection			
	I	II	III	IV
Inférieurs aux valeurs maximales définies dans le Tableau 5	0,99	0,98	0,97	0,97
Supérieurs aux valeurs minimales définies dans le Tableau 6	0,99	0,97	0,91	0,84

Les mesures de protection spécifiées dans la CEI 62305-3, dans la CEI 62305-4 et dans la CEI 62305-5 sont efficaces si les paramètres du courant de foudre sont dans le domaine du niveau de protection défini par le concepteur. C'est pourquoi l'efficacité d'une mesure de protection est supposée égale à la probabilité pour que les paramètres soient dans ce domaine.

8.2 Zones de protection contre la foudre (ZPF)

Les mesures de protection telles que SPF, blindage, écrans et parafoudres déterminent les zones de protection contre la foudre (ZPF).

Une ZPF en aval d'une mesure de protection est caractérisée par une réduction significative des contraintes électromagnétiques dues à la foudre, par comparaison avec la ZPF amont.

En fonction de la menace de foudre, les ZPF suivantes sont définies (voir Figures 2 et 3):

- ZPF O_A zone exposée aux coups de foudre directs et au champ électromagnétique total. Les réseaux internes peuvent être soumis à des courants de foudre partiels;
- ZPF O_B zone protégée contre les coups de foudre directs mais où le risque vient du champ électromagnétique total. Les réseaux internes peuvent être soumis à des courants de foudre partiels;
- ZPF 1 zone où le courant de choc est limité par le partage du courant et par le parafoudre mis en œuvre à la frontière. L'écran spatial peut atténuer le champ électromagnétique de foudre;
- ZPF 2, ..., n zone où le courant de choc peut être encore limité par le partage du courant et par la mise en œuvre de parafoudre complémentaire à la frontière. Un écran spatial peut atténuer le champ électromagnétique de foudre.

NOTE 1 En règle générale, plus la ZPF est de rang élevé, plus les paramètres d'environnement électromagnétique sont faibles.

Table 6 – Minimum values of lightning parameters and related rolling sphere radius corresponding to LPL

Interception criteria			LPL			
	Symbol	Unit	I	II	III	IV
Minimum peak current	I	kA	3	5	10	16
Rolling sphere radius	r	m	20	30	45	60

From the statistical distributions given in Figure A.5, a weighted probability can be determined that the lightning current parameters are smaller than the maximum values and respectively greater than the minimum values defined for each protection level (see Table 7).

Table 7 – Probabilities for the limits of the lightning current parameters

Probability that lightning current parameters	LPL			
	I	II	III	IV
Are smaller than the maximum values defined in Table 5	0,99	0,98	0,97	0,97
Are greater than the minimum values defined in Table 6	0,99	0,97	0,91	0,84

The protection measures specified in IEC 62305-3, IEC 62305-4 and IEC 62305-5 are effective against lightning whose current parameters are in the range defined by the LPL assumed for design. Therefore the efficiency of a protection measure is assumed equal to the probability with which lightning current parameters are inside such range.

8.2 Lightning protection zones (LPZ)

Protection measures such as LPS, shielding wires, magnetic shields and SPD determine lightning protection zones (LPZ).

LPZ downstream of the protection measure are characterized by significant reduction of LEMP than that upstream of the LPZ.

With respect to the threat of lightning, the following LPZs are defined (see Figures 2 and 3):

- LPZ O_A zone where the threat is due to the direct lightning flash and the full lightning electromagnetic field. The internal systems may be subjected to full or partial lightning surge current;
- LPZ O_B zone protected against direct lightning flashes but where the threat is the full lightning electromagnetic field. The internal systems may be subjected to partial lightning surge currents;
- LPZ 1 zone where the surge current is limited by current sharing and by SPDs at the boundary. Spatial shielding may attenuate the lightning electromagnetic field;
- LPZ 2, ..., n zone where the surge current may be further limited by current sharing and by additional SPDs at the boundary. Additional spatial shielding may be used to further attenuate the lightning electromagnetic field.

NOTE 1 In general, the higher the number of an individual zone, the lower the electromagnetic environment parameters.

La règle générale de protection est que l'objet (structure, service ou partie) à protéger soit contenu dans une ZPF dont les caractéristiques électromagnétiques sont compatibles avec la tenue de l'objet aux contraintes entraînant les dommages à réduire (dommages physiques, défaillances des réseaux de puissance et de communication dues à des surtensions).

NOTE 2 Pour la plupart des réseaux de puissance et de communication et les matériels, une information sur la tenue de choc peut être fournie par le constructeur.

8.3 Protection des structures

8.3.1 Protection contre les dommages physiques et le risque de mort

La structure à protéger doit être intégrée dans la ZPF O_B ou de rang supérieur. Cela est réalisé par la mise en œuvre d'un système de protection contre la foudre (SPF).

Un SPF se compose d'une installation extérieure et d'une installation intérieure contre la foudre (voir Figure 2).

Les fonctions du SPF extérieur sont

- d'intercepter un coup de foudre direct sur la structure (par un dispositif de capture),
- d'écouler de manière sûre le courant de foudre vers la terre (par des conducteurs de descente), et
- de le disperser dans la terre (par la prise de terre).

La fonction du SPF intérieur est d'empêcher tout étincelage dangereux dans la structure en utilisant soit des liaisons équipotentielles, soit des distances de séparation, s (associées à l'isolation électrique) entre les composants du SPF et les éléments conducteurs électriques internes de la structure.

Quatre types de SPF sont définis (I, II, III, IV) pour les règles de construction, en se fondant sur les niveaux de protection correspondants. Chaque type comprend des règles de construction dépendantes (par exemple rayon de la sphère fictive, largeur de maille, etc.) et indépendantes (par exemple sections, matériaux, etc.).

Si la résistivité de surface du sol à l'extérieur, et du plancher à l'intérieur de la structure n'est pas suffisamment élevée, un danger de mort existe en raison des tensions de contact et de pas qui peuvent être réduits par:

- à l'extérieur de la structure, isolation des éléments conducteurs, équipotentialité du sol au moyen d'un réseau maillé de terre, des panneaux d'avertissement et des restrictions physiques;
- à l'intérieur de la structure, équipotentialité des services au point de pénétration dans la structure.

Le SPF doit être conforme aux exigences de la CEI 62305-3.

8.3.2 Protection contre les défaillances des réseaux internes

La protection contre l'IEMF pour réduire le risque de défaillances des réseaux internes doit limiter:

- les surtensions dues aux coups de foudre sur la structure en raison du couplage résistif et inductif;
- les surtensions dues aux coups de foudre à proximité de la structure en raison du couplage inductif;

As a general rule for protection, the object to be protected shall be in a LPZ whose electromagnetic characteristics are compatible with the capability of the object to withstand stress causing the damage to be reduced (physical damage, failure of electrical and electronic systems due to overvoltages).

NOTE 2 For most electrical and electronic systems and apparatus, information about withstand level can be supplied by manufacturer.

8.3 Protection of structures

8.3.1 Protection to reduce physical damage and life hazard

The structure to be protected shall be inside an LPZ 0_B or higher. This is achieved by means of a lightning protection system (LPS).

An LPS consists of both external and internal lightning protection systems (see Figure 2).

The functions of the external LPS are

- to intercept a lightning flash to the structure (with an air-termination system),
- to conduct the lightning current safely to earth (with a down-conductor system),
- to disperse it into the earth (with an earth-termination system).

The function of the internal LPS is to prevent dangerous sparking within the structure, using either equipotential bonding or a separation distance, s , (and hence electrical isolation) between the LPS components and other electrically conducting elements internal to the structure.

Four classes of LPS (I, II, III, IV) are defined as a set of construction rules, based on the corresponding LPL. Each set includes level-dependent (e.g. rolling sphere radius, mesh width etc.) and level-independent (e.g. cross-sections, materials etc.) construction rules.

Where surface resistivity of the soil outside, and of the floor inside the structure is not sufficiently high, life hazard due to touch and step voltages is reduced:

- outside the structure, by insulation of the exposed conductive parts, by equipotentialization of the soil by means of a meshed earthing system, by warning notice and by physical restrictions;
- inside the structure, by equipotential bonding of services at entrance point into the structure.

LPS shall comply with requirements of IEC 62305-3.

8.3.2 Protection to reduce the failure of internal systems

The protection against LEMP to reduce the risk of failure of internal systems shall limit:

- overvoltages due to lightning flashes to the structure resulting from resistive and inductive coupling;
- overvoltages due to lightning flashes near the structure resulting from inductive coupling;

- les surtensions transmises par les lignes connectées à la structure en raison des coups de foudre sur ou à proximité de ces lignes;
- le champ magnétique à couplage direct avec les réseaux internes.

NOTE Les défaillances des matériels dus aux effets du champ magnétique se couplant directement avec le matériel sont rares pourvu que les matériels des réseaux soient conformes aux ondes de radio-fréquence émises et aux essais d'immunité définis par les normes CEM des produits (voir la CEI 62305-2 et la CEI 62305-4).

Le réseau à protéger doit être à l'intérieur de la ZPF 1 ou de niveau supérieur. Cela est réalisé par des écrans atténuant les champs magnétiques induits et/ou par un cheminement approprié des canalisations réduisant les boucles d'induction. La liaison des parties métalliques et des réseaux traversant la ZPF doit être prévue aux frontières des ZPF soit par conducteurs, soit par parafoudres.

Les mesures de protection réalisant la ZPF appropriée sont données dans la CEI 62305-4.

Une protection efficace contre les surtensions, entraînant des défaillances des réseaux internes peut aussi être réalisée par des parafoudres coordonnés limiteurs de surtension à un niveau inférieur à la catégorie de surtension des matériels à protéger.

Les parafoudres doivent être choisis et mis en œuvre conformément à la CEI 62305-4.

8.4 Protection des services

Le service à protéger doit être

- dans une ZPF O_B ou supérieure pour la protection contre les dommages physiques. Cela est réalisé en choisissant un mode de pose souterrain au lieu d'aérien ou en utilisant des écrans à des emplacements appropriés conformément aux caractéristiques des lignes ou en augmentant l'épaisseur des canalisations de manière à assurer la continuité métallique;
- dans une ZPF 1 ou supérieure pour la protection contre les surtensions entraînant des défaillances. Cela est réalisé en réduisant le niveau des surtensions induites par des câbles écrantés et/ou par des parafoudres limitant les surtensions.

- overvoltages transmitted by lines connected to the structure due to flashes to or near the lines;
- magnetic field directly coupling with internal systems.

NOTE Failure of apparatus due to electromagnetic fields directly radiated into the equipment are negligible provided that apparatus comply with radio frequency (RF) radiated emission and immunity tests defined by relevant EMC product standards (see IEC 62305-2 and IEC 62305-4).

The system to be protected shall be located inside a LPZ 1 or higher. This is achieved by means of magnetic shields attenuating the inducing magnetic field and/or suitable routing of wiring reducing the induction loop. Bonding shall be provided at the boundaries of LPZ for metal parts and systems crossing the boundaries. This bonding may be accomplished by means of bonding conductors or, when necessary, by surge protective devices (SPDs).

Protection measures for LPZ shall comply with IEC 62305-4.

Effective protection against overvoltages, causing failures of internal systems, may also be achieved by means of a “coordinated SPD protection”, limiting overvoltages below the rated impulse withstand voltage of the system to be protected.

SPDs shall be selected and installed according to the requirements of IEC 62305-4.

8.4 Protection of services

The service to be protected shall be

- inside an LPZ 0_B or higher to reduce physical damage. This is achieved by selecting underground instead of aerial routing or by using adequately positioned shielding wire, where effective according to the line characteristics or, in the case of pipes, by increasing the pipe thickness to an adequate value and ensuring the metallic continuity of pipes;
- inside an LPZ 1 or higher for protection against overvoltages causing failure of the service. This is achieved by reducing the level of the overvoltages induced by lightning by means of adequate magnetic shielding of cables, diverting overcurrent and limiting overvoltages by means of adequate SPDs.

Annexe A (informative)

Paramètres du courant de foudre

A.1 Eclairs à la terre

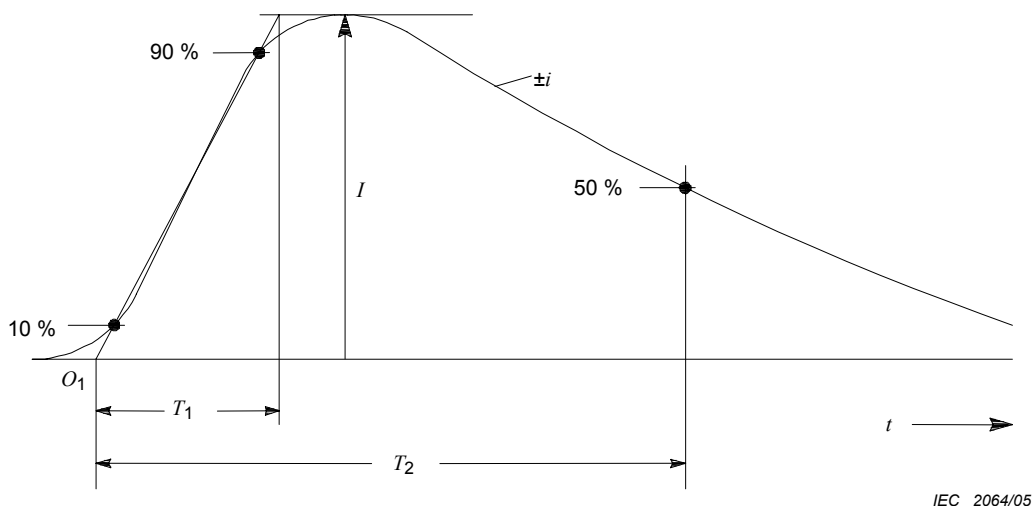
Deux types essentiels d'éclairs existent:

- les éclairs descendants initiés par des précurseurs descendants depuis le nuage vers la terre; et
- les éclairs ascendants initiés par un précurseur ascendant depuis une structure au sol vers le nuage.

Dans des environnements plats et pour des structures peu élevées, des éclairs descendants apparaissent essentiellement, tandis que pour des environnements exposés et/ou pour des structures élevées, les éclairs ascendants deviennent dominants. La probabilité d'impact augmente avec la hauteur réelle des structures (voir la CEI 62305-2, Annexe A) et les conditions physiques sont modifiées.

Le courant de foudre comprend un ou plusieurs chocs:

- les chocs courts de durée inférieure à 2 ms (Figure A.1);
- les chocs longs de durée supérieure à 2 ms (Figure A.2).



IEC 2064/05

Légende

- O_1 origine virtuelle
- I courant crête
- T_1 durée du front
- T_2 temps jusqu'à mi-valeur

Figure A.1 – Définitions des paramètres d'un choc court (typiquement $T_2 < 2$ ms)

Annex A (informative)

Parameters of lightning current

A.1 Lightning flashes to earth

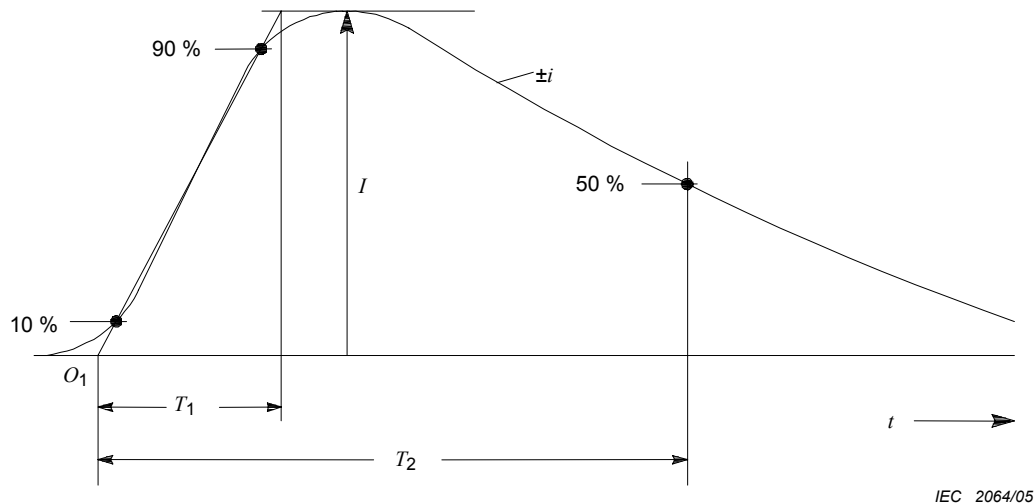
Two basic types of flashes exist:

- downward flashes initiated by a downward leader from cloud to earth;
- upward flashes initiated by an upward leader from an earthed structure to cloud.

Mostly downward flashes occur in flat territory, and to lower structures, whereas for exposed and/or higher structures upward flashes become dominant. With effective height, the probability of a direct strike to the structure increases (see IEC 62305-2, Annex A) and the physical conditions change.

A lightning current consists of one or more different strokes:

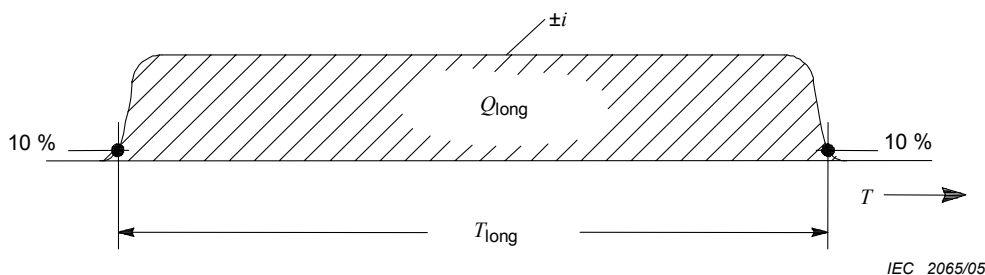
- short strokes with duration less than 2 ms (Figure A.1)
- long strokes with duration longer than 2 ms (Figure A.2).



Key

- O_1 virtual origin
- I peak current
- T_1 front time
- T_2 time to half value

Figure A.1 – Definitions of short stroke parameters (typically $T_2 < 2$ ms)



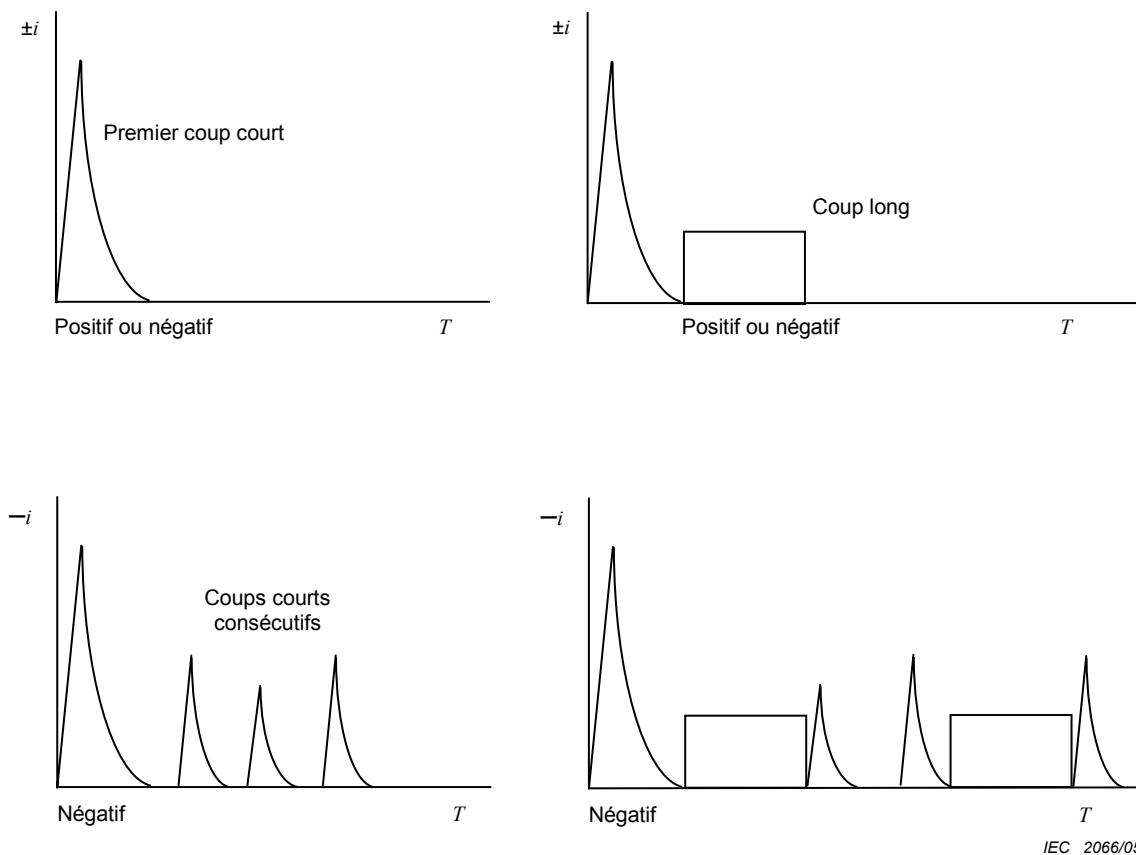
IEC 2065/05

Légende

- T_{long} durée
- Q_{long} charge d'un choc long

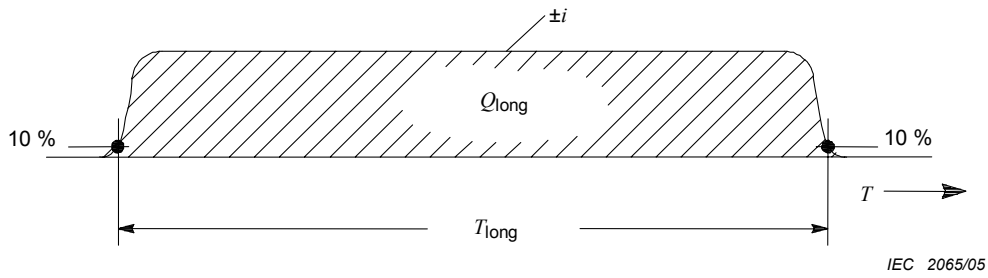
**Figure A.2 – Définitions des paramètres d'un choc long
(typiquement $2\text{ ms} < T_{long} < 1\text{ s}$)**

Une différence complémentaire des coups vient de leur polarité (positive ou négative) et de leur emplacement lors de l'éclair (premier, consécutif, superposé). Les composantes possibles sont indiquées à la Figure A.3 pour les éclairs descendants et à la Figure A.4 pour les éclairs ascendants.



IEC 2066/05

**Figure A.3 – Composantes possibles d'éclairs descendants
(typiques en plaine et sur des structures peu élevées)**



IEC 2065/05

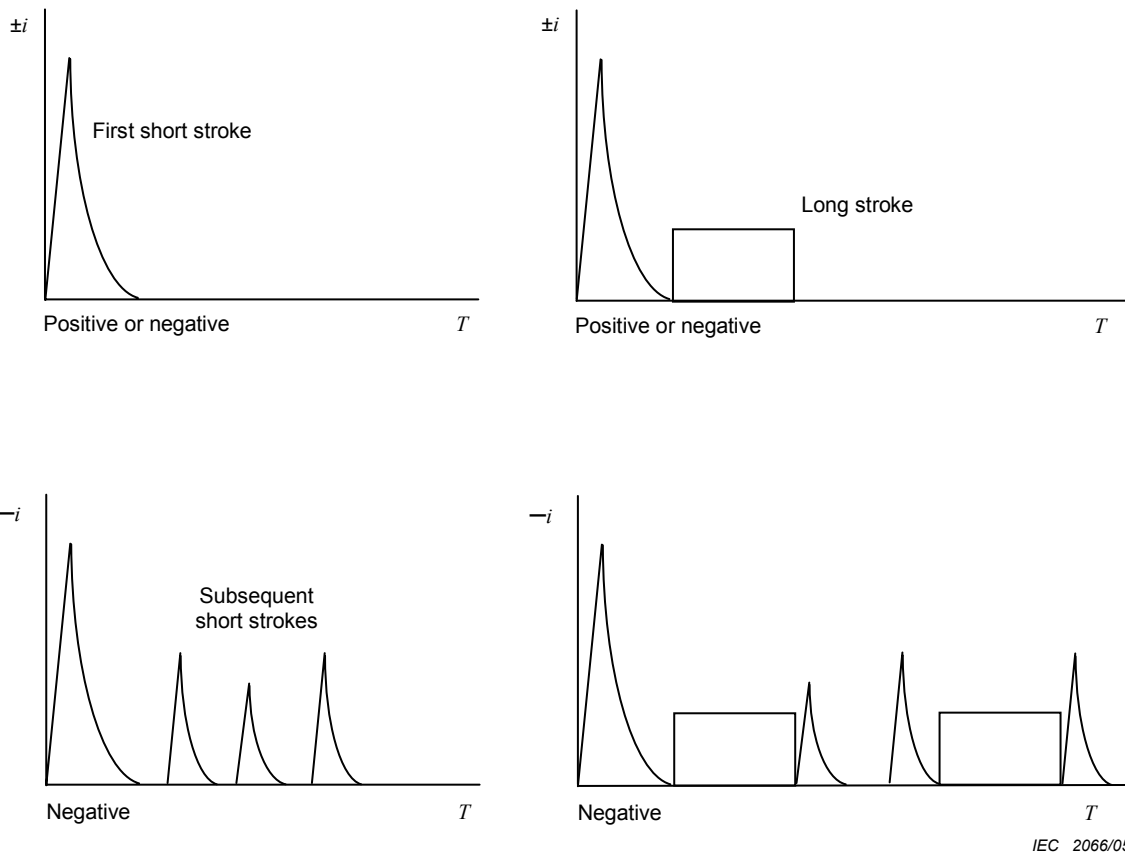
Key

T_{long} duration time

Q_{long} long stroke charge

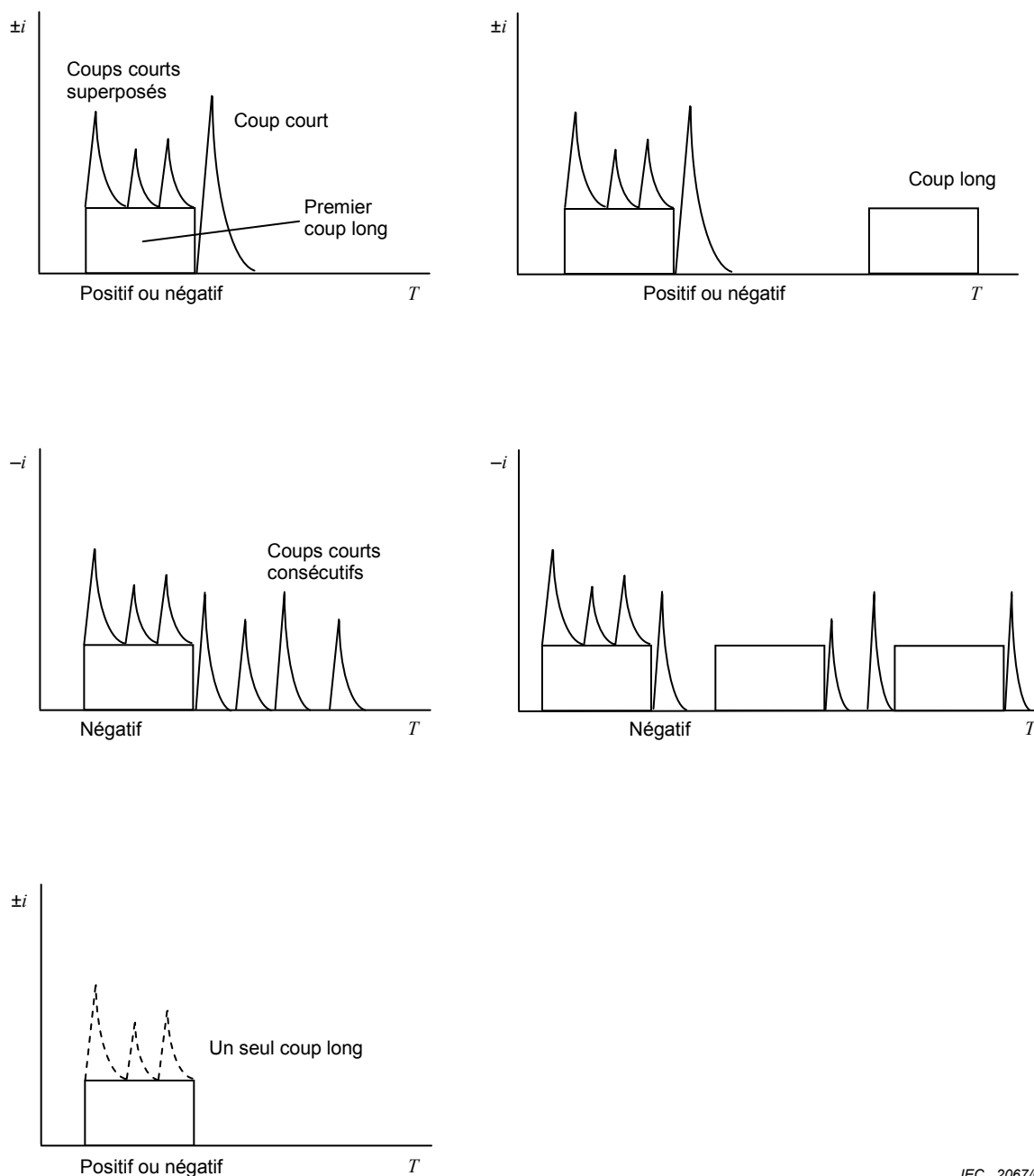
**Figure A.2 – Definitions of long stroke parameters
(typically $2\text{ ms} < T_{long} < 1\text{ s}$)**

Further differentiation of strokes comes from their polarity (positive or negative) and from their position during the flash (first, subsequent, superimposed). The possible components are shown in Figure A.3 for downward flashes and in Figure A.4 for upward flashes.



IEC 2066/05

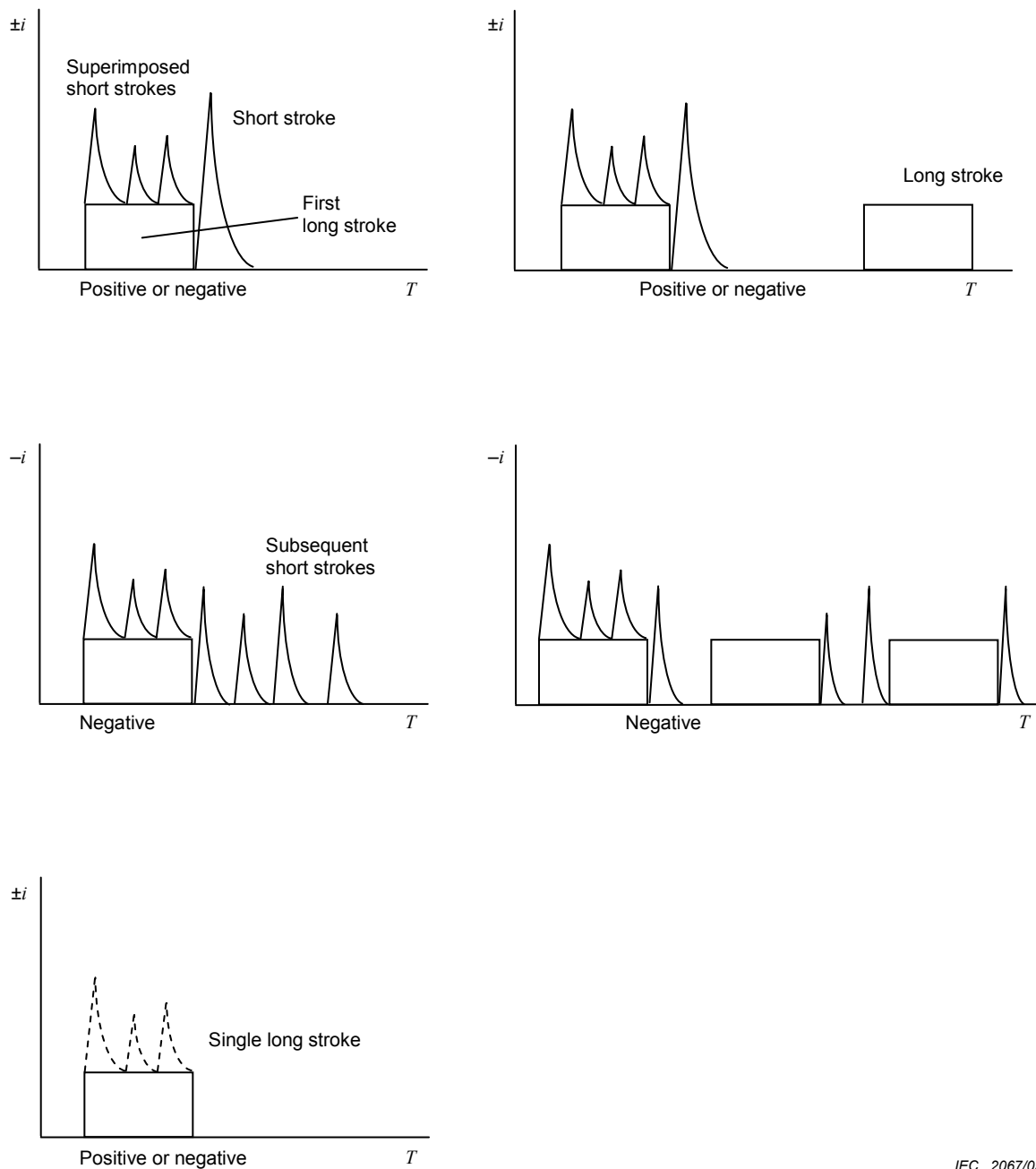
**Figure A.3 – Possible components of downward flashes
(typical in flat territory and to lower structures)**



IEC 2067/05

Figure A.4 – Composantes possibles d'éclairs ascendants (typiques sur des structures exposées et/ou élevées)

La composante supplémentaire dans un éclair ascendant est le premier coup long avec ou non jusqu'à une dizaine de coups superposés. Mais, tous les paramètres d'un coup court d'éclair ascendant sont inférieurs à ceux d'éclairs descendants. Une charge supérieure d'un coup long n'est pas confirmée à ce jour. Toutefois, les paramètres de foudre des éclairs ascendants sont considérés comme couverts par les valeurs maximales des éclairs descendants. Une évaluation plus précise des paramètres de foudre et leur dépendance vis-à-vis des hauteurs tant pour les éclairs ascendants que descendants sont à l'étude.



IEC 2067/05

**Figure A.4 – Possible components of upward flashes
(typical to exposed and/or higher structures)**

The additional component in upward flashes is the first long stroke with or without up to some ten superimposed short strokes. But all short stroke parameters of upward flashes are less than those of downward flashes. A higher long stroke charge of upward flashes is not yet confirmed. Therefore the lightning current parameters of upward flashes are considered to be covered by the maximum values given for downward flashes. A more precise evaluation of lightning current parameters and their height dependency with regard to downward and upward flashes is under consideration.

A.2 Paramètres du courant de foudre

Les paramètres du courant de foudre dans la présente norme se fondent sur les résultats du Conseil International des Grands Réseaux Electriques (CIGRE) donnés dans le Tableau A.1. Leur distribution statistique peut être considérée comme une distribution logarithmique normale. La valeur moyenne correspondante μ et la dispersion σ_{\log} sont données dans le Tableau A.2 et la fonction de distribution est présentée à la Figure A.5. Sur cette base, la probabilité d'apparition de toute valeur de chacun des paramètres peut être déterminée.

Un rapport de polarité de 10 % de coups positifs et de 90 % de coups négatifs est admis. Le rapport de polarité est fonction de l'environnement. En cas d'absence d'informations locales, il est recommandé de prendre le rapport donné.

Tableau A.1 – Valeurs des paramètres du courant de foudre de la CIGRE (Electra N° 41 ou N° 69*) [3], [4]

Paramètre	Valeur fixée pour le niveau I	Valeurs			Type de coup	Ligne de la Figure A.5
		95 %	50 %	5 %		
I (kA)	50	4 (98 %)	20 (80%)	90	*Premier court négatif	1A+1B
		4,9	11,8	28,6	*Court consécutif négatif	2
	200	4,6	35	250	Premier court positif (seul)	3
Q_{flash} (C)	300	1,3	7,5	40	Éclair négatif	4
		20	80	350	Éclair positif	5
Q_{short} (C)	100	1,1	4,5	20	Premier court négatif	6
		0,22	0,95	4	Court consécutif négatif	7
		2	16	150	Premier court positif (seul)	8
W/R (kJ/Ω)	10 000	6	55	550	Premier court négatif	9
		0,55	6	52	Court consécutif négatif	10
		25	650	15 000	Premier court positif	11
di/dt_{max} (kA/μs)	20	9,1	24,3	65	*Premier court négatif	12
		9,9	39,9	161,5	*Court consécutif négatif	13
		0,2	2,4	32	Premier court positif	14
$di/dt_{30/90\%}$ (kA/μs)	200	4,1	20,1	98,5	*Court consécutif négatif	15
Q_{long} (C)	200				Long	
t_{long} (s)	0,5				Long	
Durée du front (μs)		1,8	5,5	18	Premier court négatif	
		0,22	1,1	4,5	*Court consécutif négatif	
		3,5	22	200	Premier court positif (seul)	
Durée de choc (μs)		30	75	200	Premier court négatif	
		6,5	32	140	Court consécutif négatif	
		25	230	2 000	Premier court positif (seul)	
Intervalle de temps (ms)		7	33	150	Coups négatifs multiples	
Durée totale éclair (ms)		0,15	13	1 100	Éclair négatif (tous)	
		31	180	900	Eclair négatif (sans simple)	
		14	85	500	Eclair positif	

NOTE Les valeurs $I = 4$ kA et $I = 20$ kA correspondent respectivement aux probabilités de 98 % et de 80 %.

A.2 Lightning current parameters

The lightning current parameters in this standard are based on the results of the International Council on Large Electrical Systems (CIGRE) data given in Table A.1. Their statistical distribution can be assumed to have a logarithmic normal distribution. The corresponding mean value μ and the dispersion σ_{\log} are given in Table A.2 and the distribution function is shown in Figure A.5. On this basis, the probability of occurrence of any value of each parameter can be determined.

A polarity ratio of 10 % positive and 90 % negative flashes is assumed. The polarity ratio is a function of the territory. If no local information is available, the ratio given herein should be used.

Table A.1 – Tabulated values of lightning current parameters taken from CIGRE (Electra No. 41 or No. 69*) [3], [4]

Parameter	Fixed values for LPL I	Values			Type of stroke	Line in Figure A.5
		95 %	50 %	5 %		
I (kA)	50 200	4(98 %)	20(80 %)	90	*First negative short	1A+1B
		4,9	11,8	28,6	*Subsequent negative short	2
		4,6	35	250	First positive short (single)	3
Q_{flash} (C)	300	1,3	7,5	40	Negative flash	4
		20	80	350	Positive flash	5
Q_{short} (C)	100	1,1	4,5	20	First negative short	6
		0,22	0,95	4	Subsequent negative short	7
		2	16	150	First positive short (single)	8
W/R (kJ/ Ω)	10 000	6	55	550	First negative short	9
		0,55	6	52	Subsequent negative short	10
		25	650	15 000	First positive short	11
di/dt_{max} (kA/ μs)	20	9,1	24,3	65	*First negative short	12
		9,9	39,9	161,5	*Subsequent negative short	13
		0,2	2,4	32	First positive short	14
$di/dt_{30/90\%}$ (kA/ μs)	200	4,1	20,1	98,5	*Subsequent negative short	15
Q_{long} (C)	200				Long	
t_{long} (s)	0,5				Long	
Front duration (μs)		1,8	5,5	18	First negative short	
		0,22	1,1	4,5	Subsequent negative short	
		3,5	22	200	First positive short (single)	
Stroke duration (μs)		30	75	200	First negative short	
		6,5	32	140	Subsequent negative short	
		25	230	2 000	First positive short (single)	
Time interval (ms)		7	33	150	Multiple negative strokes	
Total flash duration (ms)		0,15	13	1 100	Negative flash (all)	
		31	180	900	Negative flash (without single)	
		14	85	500	Positive flash	

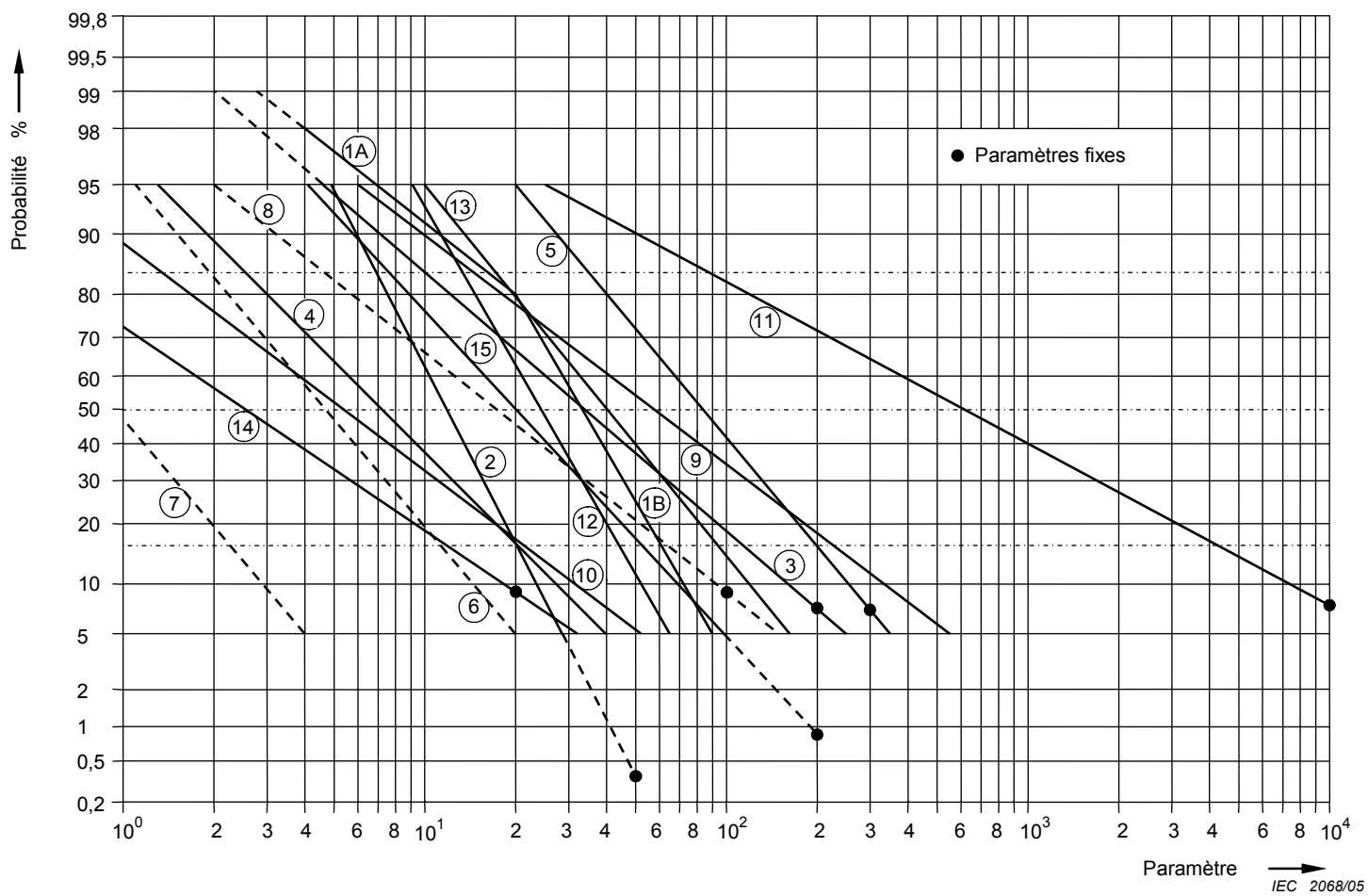
NOTE The values of $I = 4$ kA and $I = 20$ kA correspond to a probability of 98 % and 80 %, respectively.

**Tableau A.2 – Distribution logarithmique normale des paramètres
de courant de foudre –
Valeurs moyennes μ et de dispersion σ_{\log} calculées pour 95 % et 5 %
à partir de CIGRE (Electra N° 41 ou N° 69) [3], [4]**

Paramètre	Moyenne μ	Dispersion σ_{\log}	Type de choc	Ligne de la Figure A.5
I (kA)	(61,1)	0,576	*Premier coup négatif (80 %)	1A
	33,3	0,263	*Premier coup négatif (80 %)	1B
	11,8	0,233	*Négatif court consécutif	2
	33,9	0,527	Premier court positif (seul)	3
Q_{flash} (C)	7,21	0,452	Éclair négatif	4
	83,7	0,378	Eclair positif	5
Q_{short} (C)	4,69	0,383	Premier court négatif	6
	0,938	0,383	Négatif court consécutif	7
	17,3	0,570	Premier court positif (seul)	8
W/R	57,4	0,596	Premier court négatif	9
	5,35	0,600	Négatif court consécutif	10
	612	0,844	Premier court positif	11
di/dt_{max} (kA/ μ s)	24,3	0,260	*Premier court négatif	12
	40,0	0,369	*Court consécutif négatif	13
	2,53	0,670	Premier court positif	14
$di/dt_{30/90\%}$	20,1	0,420	*Court consécutif négatif	15
Q_{long} (C)	200		Long	
t_{long^S}	0,5		Long	
Durée du front (μ s)	5,69	0,304	Premier court négatif	
	0,995	0,398	Court consécutif négatif	
	26,5	0,534	Premier court positif (seul)	
Durée du choc (μ s)	77,5	0,250	Premier court négatif	
	30,2	0,405	Court consécutif négatif	
	224	0,578	Premier court positif (seul)	
Intervalle de temps (ms)	32,4	0,405	Négatifs multiples	
Durée totale éclair (ms)	12,8	1,175	Éclair négatif (tous)	
	167	0,445	Éclair négatif (sans simple)	
	83,7	0,472	Eclair positif	

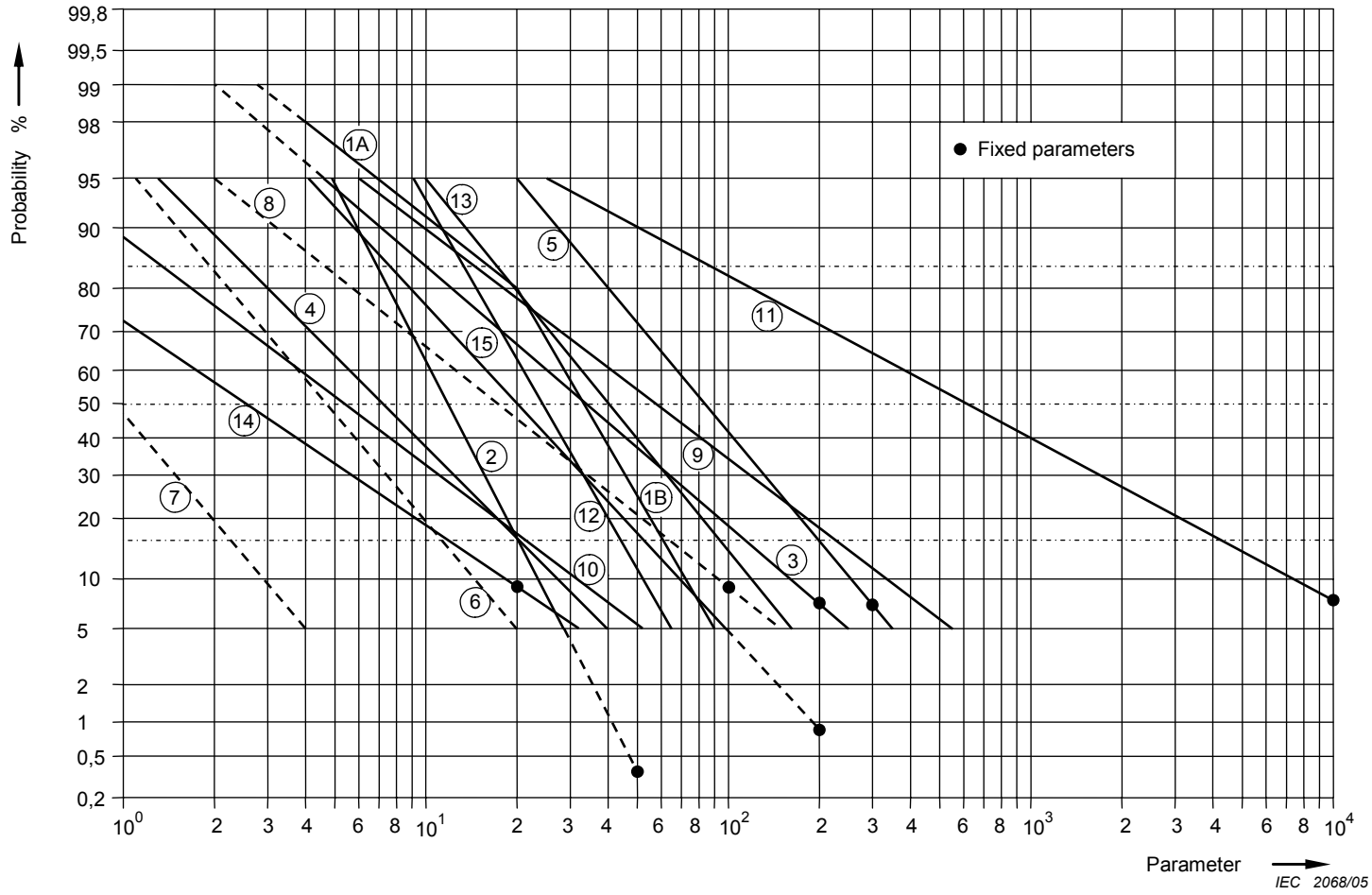
Table A.2 – Logarithmic normal distribution of lightning current parameters – Mean μ and dispersion σ_{\log} calculated from 95 % and 5 % values from CIGRE (Electra No. 41 or No. 69) [3], [4]

Parameter	Mean μ	Dispersion σ_{\log}	Stroke type	Line in Figure A.5
I (kA)	(61,1)	0,576	*First negative short (80 %)	1A
	33,3	0,263	*First negative short (80 %)	1B
	11,8	0,233	*Subsequent negative short	2
	33,9	0,527	First positive short (single)	3
Q_{flash} (C)	7,21	0,452	Negative flash	4
	83,7	0,378	Positive flash	5
Q_{short} (C)	4,69	0,383	First negative short	6
	0,938	0,383	Subsequent negative short	7
	17,3	0,570	First positive short (single)	8
W/R (kJ/ Ω)	57,4	0,596	First negative short	9
	5,35	0,600	Subsequent negative short	10
	612	0,844	First positive short	11
di/dt_{max} (kA/ μ s)	24,3	0,260	*First negative short	12
	40,0	0,369	*Subsequent negative short	13
	2,53	0,670	First positive short	14
$di/dt_{30/90\%}$ (kA/ μ s)	20,1	0,420	*Subsequent negative short	15
Q_{long} (C)	200		Long	
t_{long} (s)	0,5		Long	
Front duration (μ s)	5,69	0,304	First negative short	
	0,995	0,398	Subsequent negative short	
	26,5	0,534	First positive short (single)	
Stroke duration (μ s)	77,5	0,250	First negative short	
	30,2	0,405	Subsequent negative short	
	224	0,578	First positive short (single)	
Time interval (ms)	32,4	0,405	Multiple negative strokes	
Total flash duration (ms)	12,8	1,175	Negative flash (all)	
	167	0,445	Negative flash (without single)	
	83,7	0,472	Positive flash	



NOTE Pour la numérotation des courbes, voir les Tableaux A.1 et A.2.

Figure A.5 – Fréquence de distribution cumulative des paramètres du courant de foudre (valeurs de 95 % à 5 %)



NOTE For numbering of curves see Tables A.1 and A.2.

Figure A.5 – Cumulative frequency distribution of lightning current parameters (lines through 95 % and 5 % value)

Toutes les valeurs, fixées pour un niveau de protection, données dans la présente norme se rapportent tant aux éclairs ascendants que descendants.

NOTE Les valeurs des paramètres de foudre sont généralement obtenues par mesures effectuées sur des objets de grande hauteur. La distribution statistique des valeurs crête du courant de foudre ne considérant pas les objets de grande hauteur peuvent être obtenues par des systèmes locaux de détection.

A.3 Détermination des valeurs maximales du courant de foudre pour un niveau de protection I

Les effets mécaniques de la foudre sont liés à la valeur crête du courant (I) et à l'énergie spécifique (W/R). Les effets thermiques sont liés à l'énergie spécifique (W/R) lorsqu'un couplage résistif a lieu et à la charge (Q) si des arcs se produisent dans l'installation. Des surtensions et des étincelles dangereuses dues à un couplage inductif sont liées à la pente moyenne (di/dt) du courant de montée.

Chacun de ces paramètres (I , Q , W/R , di/dt) a tendance à être prééminent lors de chaque mécanisme de défaillance. Cela doit être pris en compte lors de l'élaboration des procédures d'essais.

A.3.1 Premiers coups court et long

Les valeurs I , Q , W/R liées aux effets mécaniques et thermiques sont déterminés à partir de coups positifs (car 10 % de leurs valeurs sont beaucoup plus élevées que les 1 % correspondant des coups négatifs). A partir de la Figure A.5 (lignes 3, 5, 8, 11 et 14), les valeurs suivantes, avec des probabilités inférieures à 10 %, peuvent être prises:

I	=	200 kA
Q_{flash}	=	300 C
Q_{short}	=	100 C
W/R	=	10 MJ/ Ω
di/dt	=	20 kA/ μs

Pour un premier coup court conformément à la Figure A.1, ces valeurs donnent une première approximation du temps de montée:

$$T_1 = I / (di/dt) = 10 \mu\text{s} \quad (T_1 \text{ présente peu d'intérêt})$$

Pour un coup avec retard exponentiel, la formule suivante est applicable pour calculer une valeur approchée de charge et d'énergie ($T_1 \ll T_2$):

$$Q_{\text{short}} = (1 / 0,7) \times I \times T_2$$

$$W/R = ((1/2)(1/0,7) \times I^2 \times T_2$$

Ces formules associées aux valeurs ci-dessus conduisent à une valeur approchée de durée jusqu'à mi-valeur:

$$T_2 = 350 \mu\text{s}$$

Pour un coup long, sa charge approchée peut être calculée par:

$$Q_{\text{long}} = Q_{\text{flash}} - Q_{\text{short}} = 200 \text{ C}$$

Sa durée, conformément à la Figure A.2, peut être calculée à partir de la durée de l'éclair comme:

$$T_{\text{long}} = 0,5 \text{ s}$$

All values fixed for LPL given in this standard relate to both downward and upward flashes.

NOTE The value of lightning parameters is usually obtained from measurement taken on tall objects. Statistical distribution of estimated lightning current peak values that does not consider the effect of tall objects is also available from lightning location systems.

A.3 Fixing the maximum lightning current parameters for LPL I

The mechanical effects of lightning are related to the peak value of the current (I), and to the specific energy (W/R). The thermal effects are related to the specific energy (W/R) when resistive coupling is involved and to the charge (Q) when arcs develop to the installation. Overvoltages and dangerous sparking caused by inductive coupling are related to the average steepness (di/dt) of the lightning current front.

Each of the single parameters (I , Q , W/R , di/dt) tend to dominate each failure mechanism. This shall be taken into account in establishing test procedures.

A.3.1 First short stroke and long stroke

The values of I , Q and W/R related to mechanical and thermal effects are determined from positive flashes (because their 10 % values are much higher than the corresponding 1 % values of the negative flashes). From Figure A.5 (lines 3, 5, 8, 11 and 14) the following values with probabilities below 10 % can be taken:

$$\begin{aligned} I &= 200 \text{ kA} \\ Q_{\text{flash}} &= 300 \text{ C} \\ Q_{\text{short}} &= 100 \text{ C} \\ W/R &= 10 \text{ MJ}/\Omega \\ di/dt &= 20 \text{ kA}/\mu\text{s} \end{aligned}$$

For a first short stroke according to Figure A.1, these values give an first approximation for the front time:

$$T_1 = I / (di/dt) = 10 \mu\text{s} \quad (T_1 \text{ is of minor interest})$$

For an exponentially decaying stroke, the following formula for approximate charge and energy values applies ($T_1 \ll T_2$):

$$\begin{aligned} Q_{\text{short}} &= (1/0,7) \cdot I \cdot T_2 \\ W/R &= (1/2) \cdot (1/0,7) \cdot I^2 \cdot T_2 \end{aligned}$$

These formulas, together with the values given above, lead to a first approximation for the time to half value:

$$T_2 = 350 \mu\text{s}$$

For the long stroke, its charge can be approximately calculated from:

$$Q_{\text{long}} = Q_{\text{flash}} - Q_{\text{short}} = 200 \text{ C}$$

Its duration time, according to Figure A.2, may be estimated from the flash duration time as:

$$T_{\text{long}} = 0,5 \text{ s}$$

A.3.2 Coup court consécutif

La valeur maximale de la pente moyenne di/dt liée à des étincelles dangereuses dues à un couplage inductif est déterminée à partir de coups courts consécutifs d'éclairs négatifs (car 1 % de leur valeur est nettement supérieur au 1 % des premiers coups négatifs ou leur 10 % correspondant des coups positifs). A partir de la Figure A.5 (lignes 2 et 15), les valeurs suivantes peuvent être prises avec des probabilités inférieures à 1 %:

$$I = 50 \text{ kA}$$

$$di/dt = 200 \text{ kA}/\mu\text{s}$$

Pour un coup court consécutif conforme à la Figure A.1, ces valeurs donnent un temps de montée approximatif de:

$$T_1 = I / (di/dt) = 0,25 \mu\text{s}$$

Le temps jusqu'à mi-valeur peut être estimé à partir des durées des coups consécutifs négatifs:

$$T_2 = 100 \mu\text{s} \text{ (} T_2 \text{ ne présente pas d'intérêt).}$$

A.4 Détermination des valeurs minimales du courant de foudre

L'efficacité d'interception d'un SPF dépend des valeurs minimales du courant de foudre et du rayon correspondant de la sphère fictive. Les frontières géométriques des zones protégées contre les coups de foudre directs peuvent être déterminées par la méthode de la sphère fictive.

Selon le modèle électrogéométrique, le rayon de la sphère fictive r est lié à la valeur crête du courant du premier coup court. Dans le rapport d'un groupe de travail de l'IEEE [5], la relation donnée est:

$$r = 10 \cdot I^{0,65} \tag{A.1}$$

où

r est le rayon de la sphère fictive (m);

I est la valeur crête du courant (kA).

Pour une sphère fictive de rayon r , il est supposé que tous les coups de foudre dont la valeur crête est supérieure à la valeur correspondante minimale de I seront interceptés par des dispositifs de capture naturels ou dédiés. C'est pourquoi la probabilité de valeurs crêtes de coups positifs et négatifs des premiers coups donnés à la Figure A.5 (lignes 1A et 3) correspond à une probabilité d'interception. En tenant compte du rapport de polarité de 10 % de coups positifs et de 90 % de coups négatifs, la probabilité globale d'interception peut être calculée (voir Tableau 7).

A.3.2 Subsequent short stroke

The maximum value of average steepness di/dt related to the dangerous sparking caused by inductive coupling is determined from subsequent short strokes of negative flashes (because their 1 % values are much higher than the 1 % values from first negative strokes or the corresponding 10 % values of the positive flashes). From Figure A.5 (lines 2 and 15) the following values with probabilities below 1 % can be taken:

$$I = 50 \text{ kA}$$

$$di/dt = 200 \text{ kA}/\mu\text{s}$$

For a subsequent short stroke according to Figure A.1 these values give an first approximation for its front time of:

$$T_1 = I / (di/dt) = 0,25 \mu\text{s}$$

Its time to half value may be estimated from the stroke duration of negative subsequent short strokes:

$$T_2 = 100 \mu\text{s} \text{ (} T_2 \text{ is of minor interest).}$$

A.4 Fixing the minimum lightning current parameters

The interception efficiency of an LPS depends on the minimum lightning current parameters and on the related rolling sphere radius. The geometrical boundary of areas which are protected against direct lightning flashes can be determined using the rolling sphere method.

Following the electro-geometric model, the rolling sphere radius r (final jump distance) is correlated with the peak value of the first short stroke current. In an IEEE working group report [5], the relation is given as

$$r = 10 \cdot I^{0,65} \tag{A.1}$$

where

r is the rolling sphere radius (m);

I is the peak current (kA).

For a given rolling sphere radius r it can be assumed that all flashes with peak values higher than the corresponding minimum peak value I will be intercepted by natural or dedicated air terminations. Therefore, the probability for the peak values of negative and positive first strokes from Figure A.5 (lines 1A and 3) is assumed to be the interception probability. Taking into account the polarity ratio of 10 % positive and 90 % negative flashes, the total interception probability can be calculated (see Table 7).

Annexe B
(informative)

Fonctions temporelles du courant de foudre à des fins d'analyse

Les formes d'ondes du courant:

- du premier coup de foudre de courte durée: 10/350 µs
- des coups consécutifs de courte durée: 0,25/100 µs

peuvent être définies par:

$$i = \frac{I}{k} \cdot \frac{(t/\tau_1)^{10}}{1+(t/\tau_1)^{10}} \cdot \exp(-t/\tau_2) \tag{B.1}$$

où

I est le courant crête;

k est le facteur de correction du courant crête;

t est le temps;

τ_1 constante du temps de montée;

τ_2 constante de la queue.

Pour les formes d'ondes de courant du premier coup court et des coups courts consécutifs pour divers niveaux de protection, les paramètres donnés dans le Tableau B.1 sont applicables. Les courbes d'analyse sont données dans les Figures B.1 à B.4.

Tableau B.1 – Paramètres pour l'Equation B.1

Paramètre	Premier coup court			Coup court consécutif		
	Niveau de protection			Niveau de protection		
	I	II	III-IV	I	II	III-IV
<i>I</i> (kA)	200	150	100	50	37,5	25
<i>k</i>	0,93	0,93	0,93	0,993	0,993	0,993
τ_1 (µs)	19	19	19	0,454	0,454	0,454
τ_2 (µs)	485	485	485	143	143	143

Annex B (informative)

Time functions of the lightning current for analysis purposes

The current waveshapes of:

- the first short stroke 10/350 μs
- the subsequent short strokes 0,25/100 μs

may be defined as:

$$i = \frac{I}{k} \cdot \frac{(t/\tau_1)^{10}}{1+(t/\tau_1)^{10}} \cdot \exp(-t/\tau_2) \quad (\text{B.1})$$

where

I is the peak current;

k is the correction factor for the peak current;

t is the time;

τ_1 is the front time constant;

τ_2 is the tail time constant.

For the current waveshapes of the first short stroke and the subsequent short strokes for different LPL, the parameters given in Table B.1 apply. The analytic curves are shown in Figures B.1 to B.4.

Table B.1 – Parameters for Equation B.1

Parameters	First short stroke			Subsequent short stroke		
	LPL			LPL		
	I	II	III-IV	I	II	III-IV
I (kA)	200	150	100	50	37,5	25
k	0,93	0,93	0,93	0,993	0,993	0,993
τ_1 (μs)	19	19	19	0,454	0,454	0,454
τ_2 (μs)	485	485	485	143	143	143

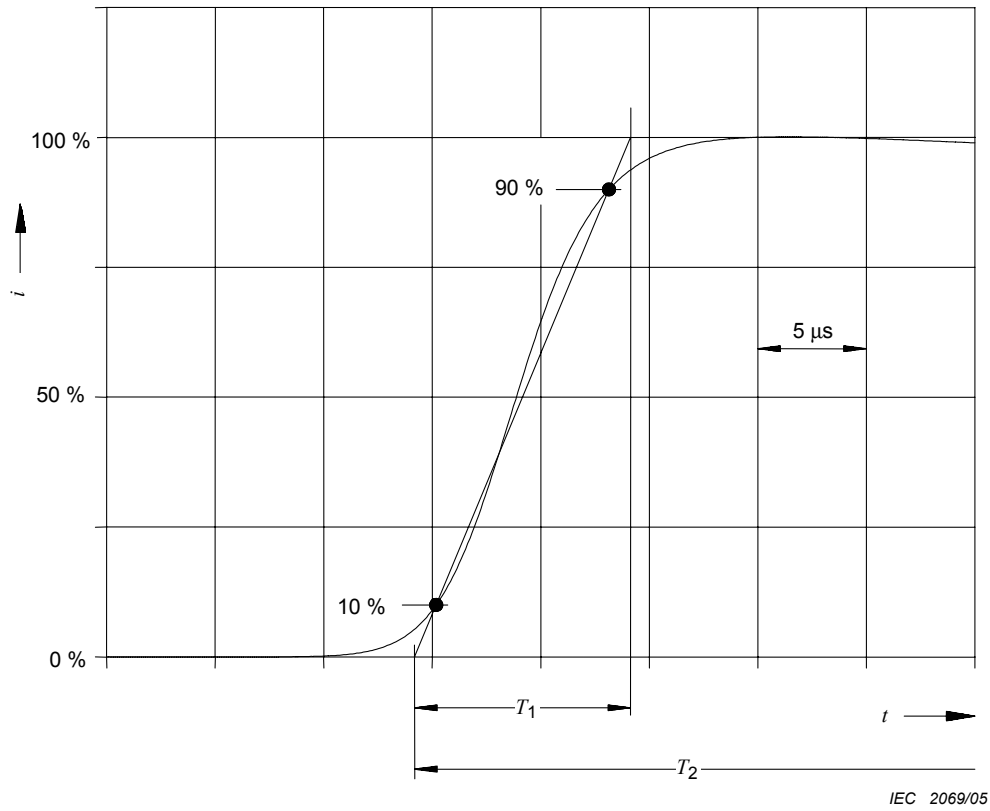


Figure B.1 – Forme d’onde du courant de montée du premier coup court

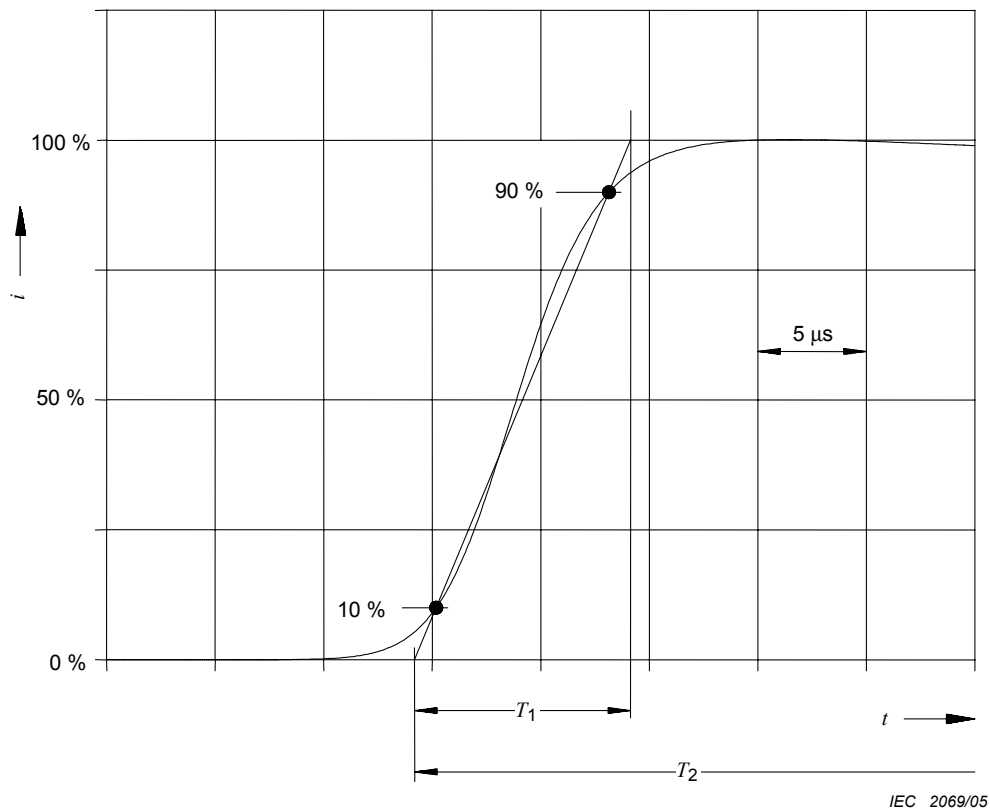


Figure B.1 – Waveshape of the current rise of the first short stroke

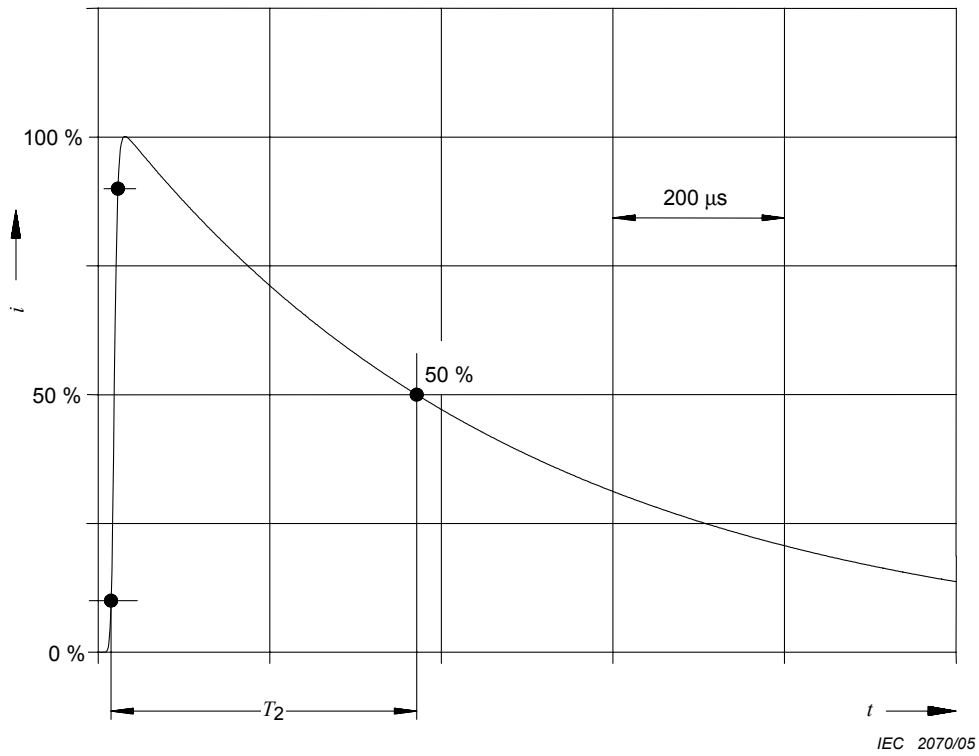


Figure B.2 – Forme d’onde du courant de queue du premier coup court

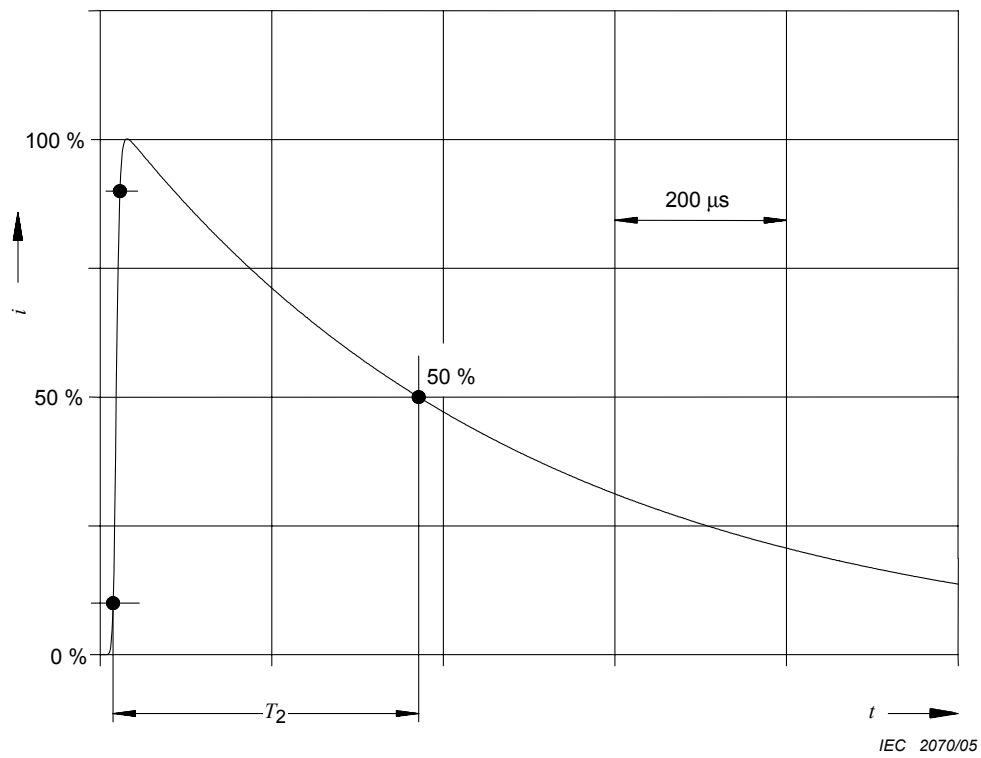


Figure B.2 – Waveshape of the current tail of the first short stroke

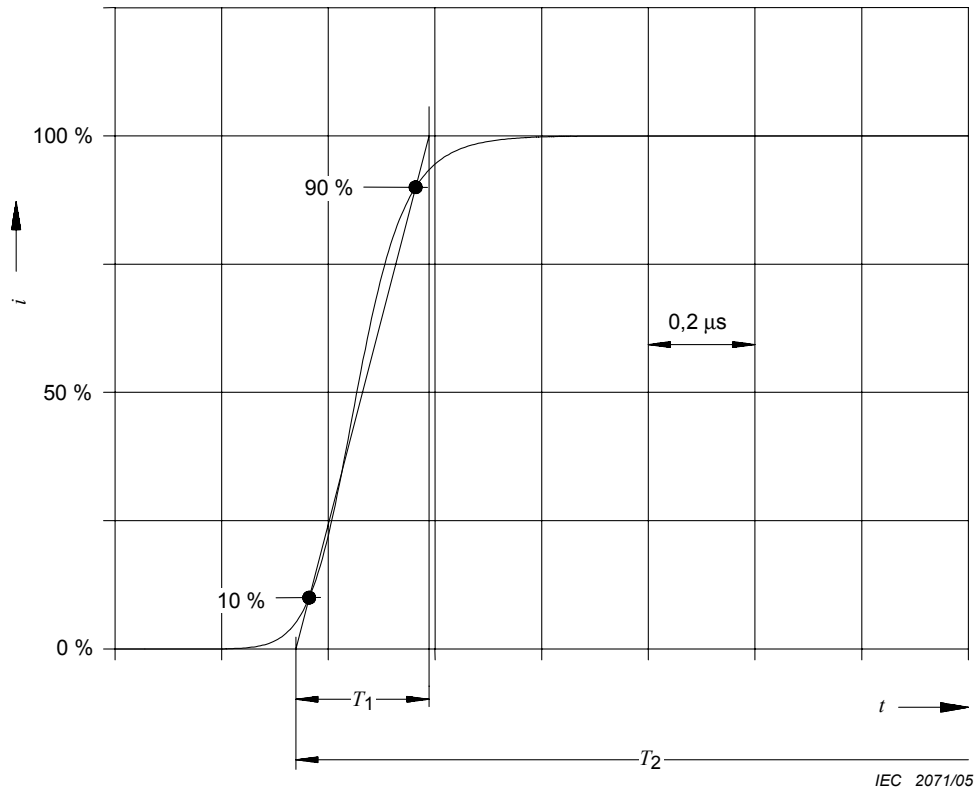


Figure B.3 – Forme d’onde du courant de montée des coups consécutifs

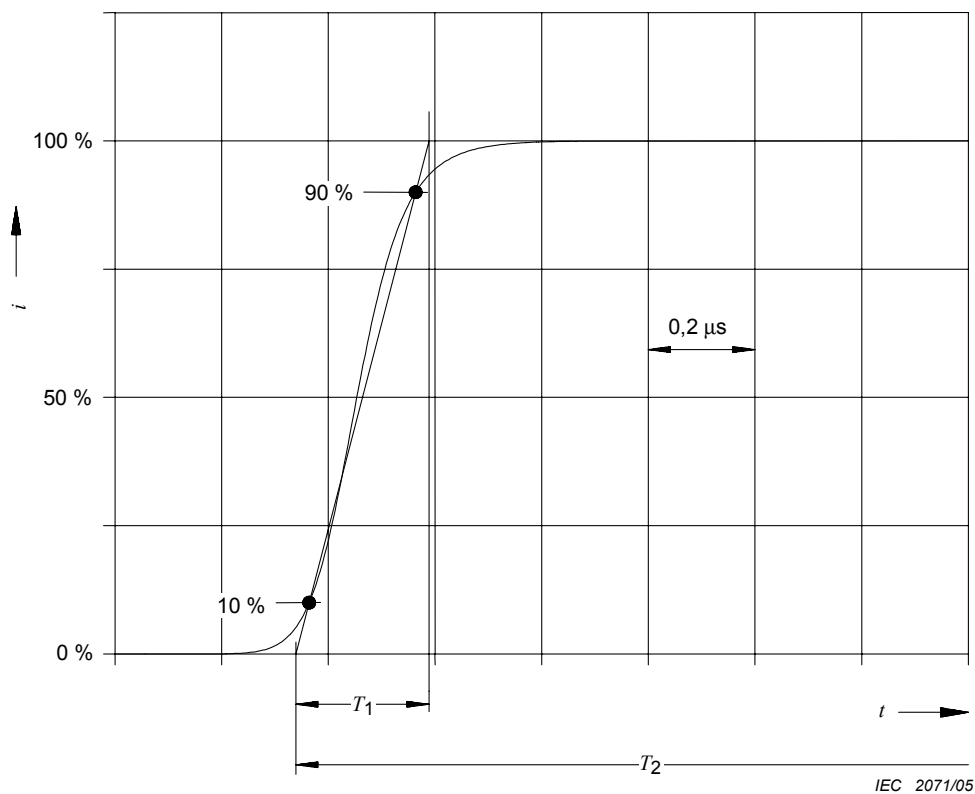


Figure B.3 – Waveshape of the current rise of the subsequent short strokes

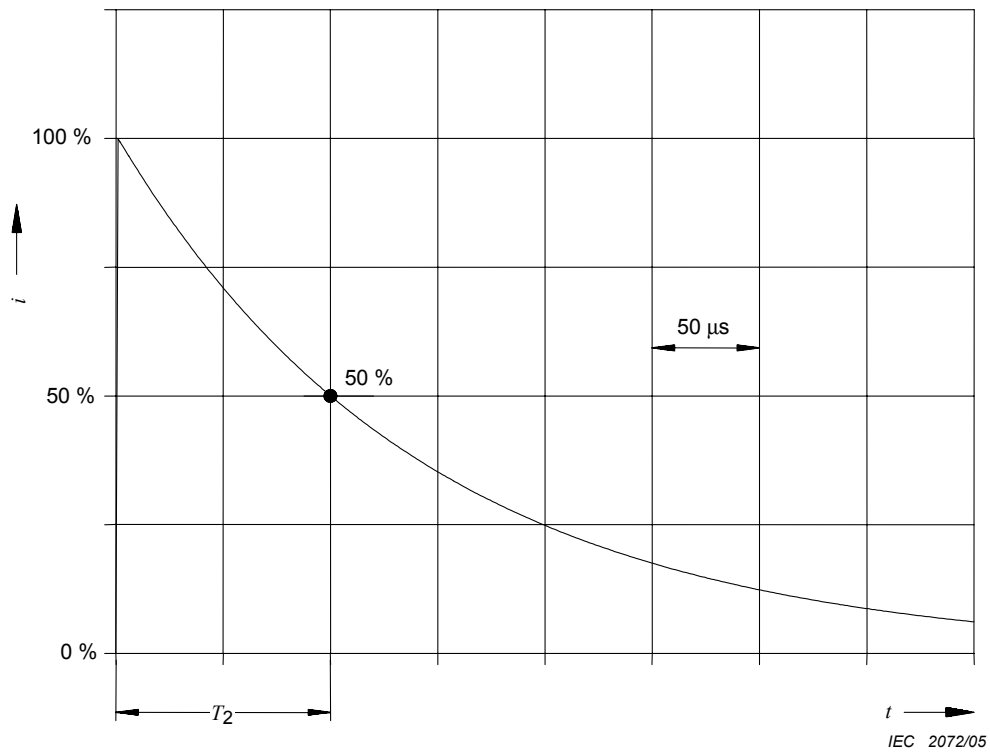


Figure B.4 – Forme d'onde du courant de queue des coups consécutifs

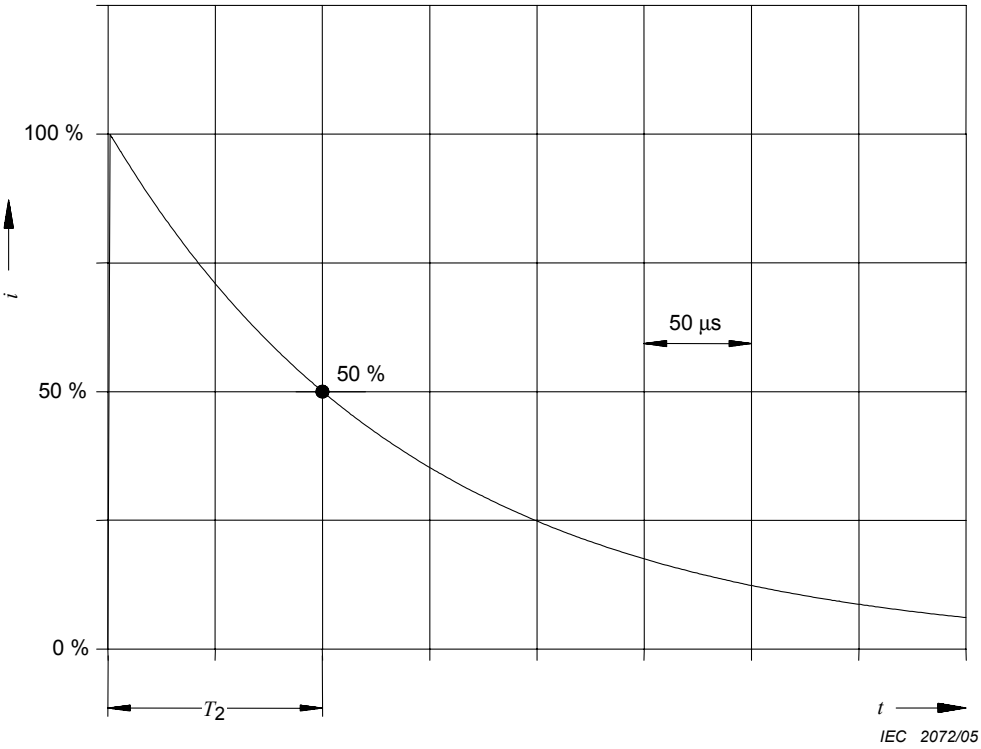
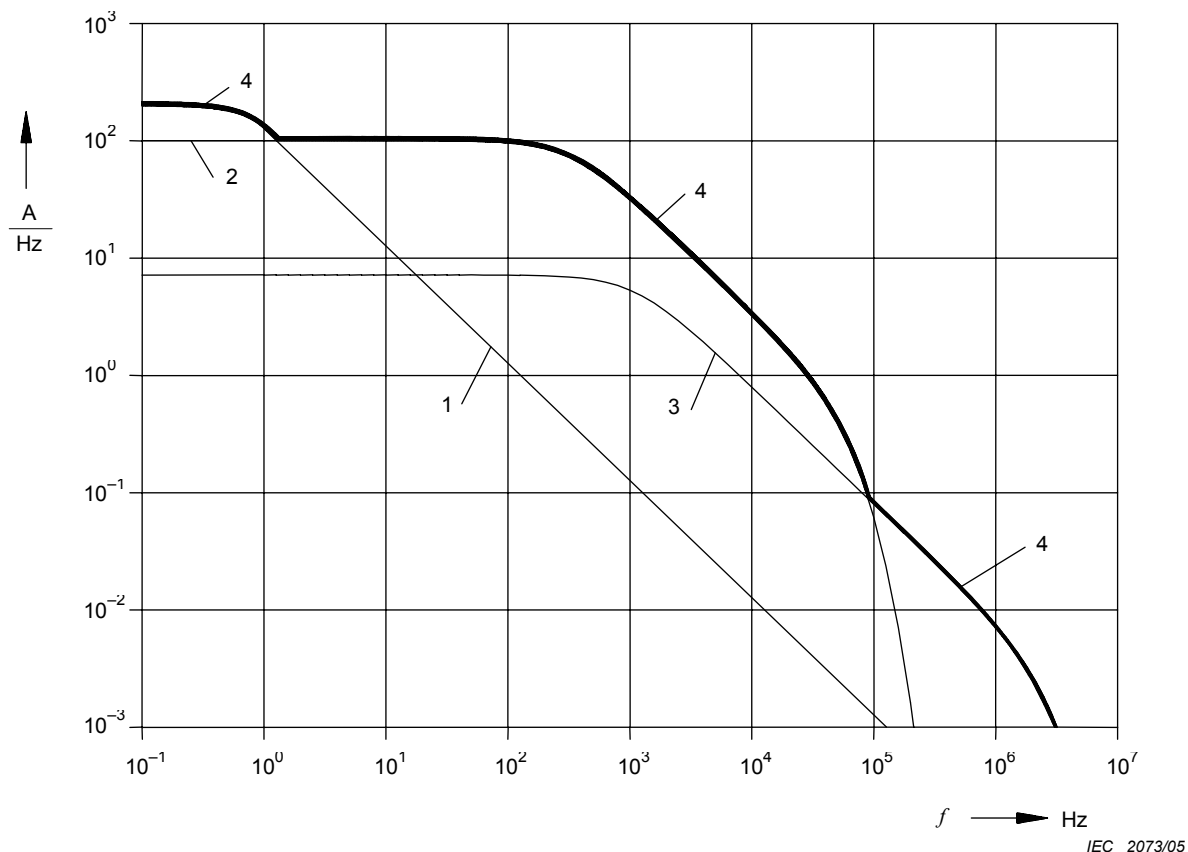


Figure B.4 – Waveshape of the current tail of the subsequent short strokes

Un coup long peut être défini par une forme d'onde rectangulaire avec un courant moyen de I et une durée T_{long} donnée dans le Tableau 5.

A partir des courbes d'analyse, les valeurs de densité de foudroiement (Figure B.5) peuvent être dérivées.

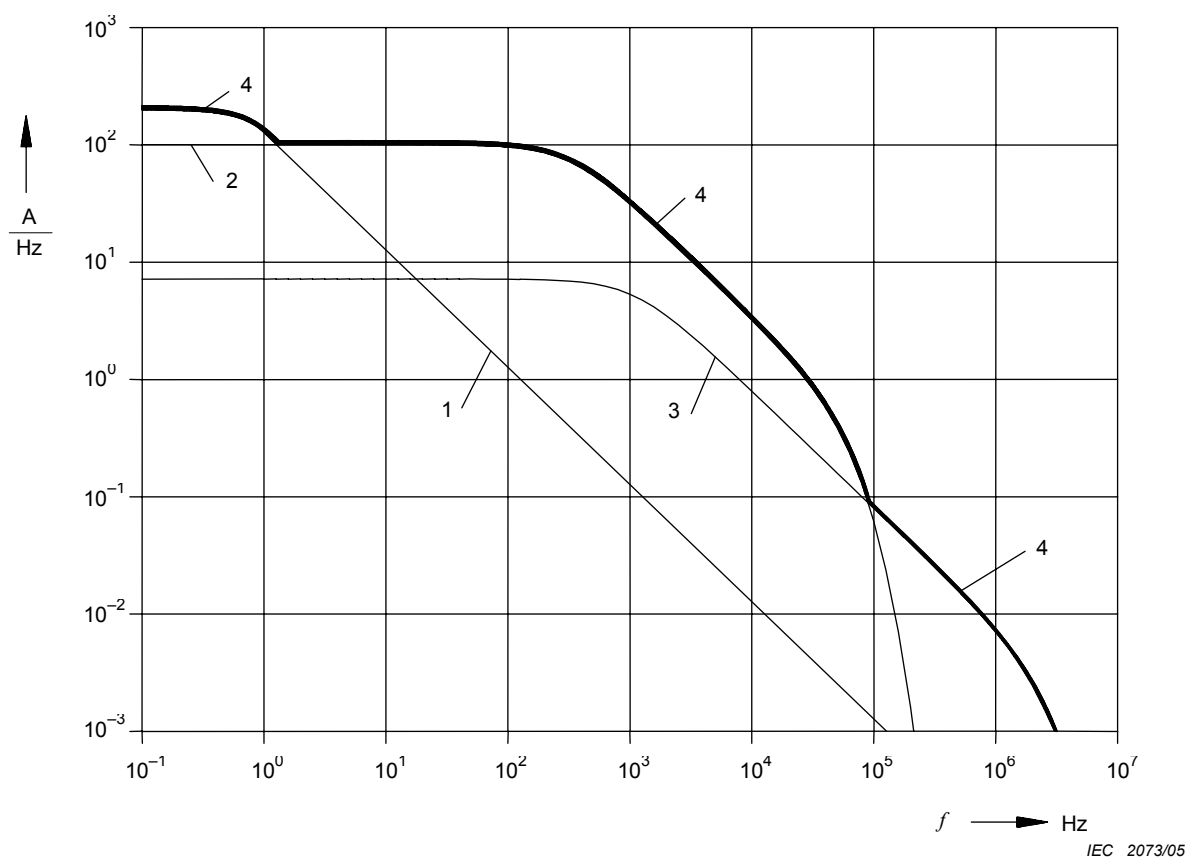


1	Coup long	400 A	0,5 s
2	Premier coup court	200 kA	10/350 μ s
3	Coup court consécutif	50 kA	0,25/100 μ s
4	Courbe enveloppante		

Figure B.5 – Densité du courant de foudre pour le niveau de protection I

The long stroke can be described by a rectangular waveshape with an average current I and a duration T_{long} according to Table 5.

From the analytic curves, the amplitude density of the lightning current (Figure B.5) can be derived.



1	Long stroke	400 A	0,5 s
2	First short stroke	200 kA	10/350 μ s
3	Subsequent short stroke	50 kA	0,25/100 μ s
4	Enveloping curve		

Figure B.5 – Amplitude density of the lightning current according to LPL I

Annexe C (informative)

Simulation du courant de foudre aux fins d'essais

C.1 Généralités

Si un objet est frappé par la foudre, le courant de foudre se répartit dans l'objet. Lors des essais des mesures sur des éléments de protection individuelle, cela doit être pris en compte en choisissant les paramètres d'essais adaptés pour chaque élément. A cette fin, une analyse du système doit être effectuée.

C.2 Simulation de l'énergie spécifique du premier coup de foudre de courte durée et de la charge du coup de foudre de longue durée

Des paramètres d'essai sont définis aux Tableaux C.1 et C.2 et un exemple de générateur d'essai est représenté à la Figure C.1. Ce générateur peut être utilisé pour la simulation de l'énergie spécifique d'un coup court associé à la charge d'un coup long.

Ces essais ont pour objet d'évaluer l'intégrité mécanique et l'absence d'échauffements indésirables et d'effets de fusion.

Les paramètres d'essai pour la simulation d'un premier coup court (courant crête I , énergie spécifique W/R et charge Q_s) sont indiqués au Tableau C.1. Ces paramètres doivent être obtenus par la même impulsion. Cela peut être réalisé par un courant décroissant de manière approximativement exponentielle avec T_2 dans la plage des 350 μ s.

Les paramètres d'essai pour la simulation du coup long (charge Q_l et durée T) sont indiqués au Tableau C.2.

Selon le type d'essai et les mécanismes des dommages prévus, les essais du premier coup court ou du coup long peuvent être effectués un par un ou de manière associée, où le coup de longue durée suit immédiatement le coup de foudre de courte durée. Il convient d'effectuer les essais de fusion à l'arc avec les deux polarités.

Annex C (informative)

Simulation of the lightning current for test purposes

C.1 General

If an object is struck by lightning, the lightning current is distributed within the object. When testing individual protection measure components, this must be taken into account by choosing appropriate test parameters for each component. To this end, a system analysis has to be performed.

C.2 Simulation of the specific energy of the first short stroke and the charge of the long stroke

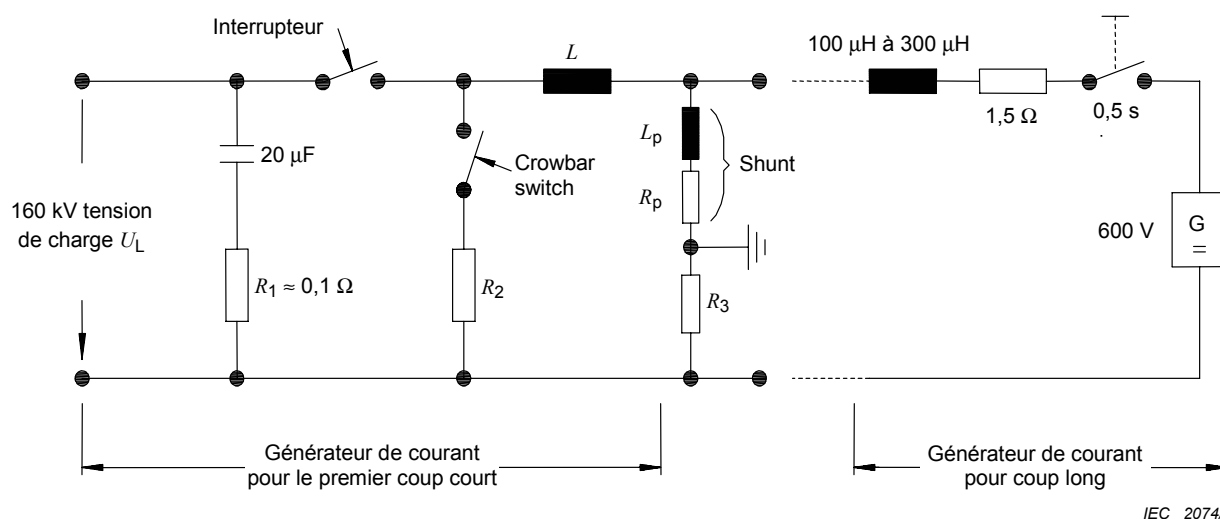
Test parameters are defined in Tables C.1 and C.2 and an example test generator is shown in Figure C.1. This generator may be used to simulate the specific energy of the first short stroke combined with the charge of the long stroke.

The tests may be used to assess mechanical integrity, freedom from adverse heating and melting effects.

The test parameters relevant for simulation of the first short stroke (peak current I , the specific energy W/R , and the charge Q_s) are given in Table C.1. These parameters shall be obtained in the same impulse. This can be achieved by an approximately exponentially decaying current with T_2 in the range of 350 μs .

The test parameters relevant for the simulation of the long stroke (charge Q_1 and duration T) are given in Table C.2.

Depending on the test item and the expected damage mechanisms, the tests for the first short stroke or the long stroke can be applied singly or as a combined test, where the long stroke follows the first short stroke immediately. Tests for arc melting should be performed using both polarities.



IEC 2074/05

NOTE Les valeurs sont applicables à un niveau de protection 1.

Figure C.1 – Exemple de générateur d’essai pour la simulation de l’énergie spécifique du premier coup de foudre de courte durée et pour la charge du coup de foudre de longue durée

Tableau C.1 – Paramètres du premier coup de foudre de courte durée

Paramètres d’essai	Niveau de protection			Tolérance %
	I	II	III – IV	
Courant crête I (kA)	200	150	100	±10
Charge Q_s (C)	100	75	50	±20
Energie spécifique W/R (MJ/Ω)	10	5,6	2,5	±35

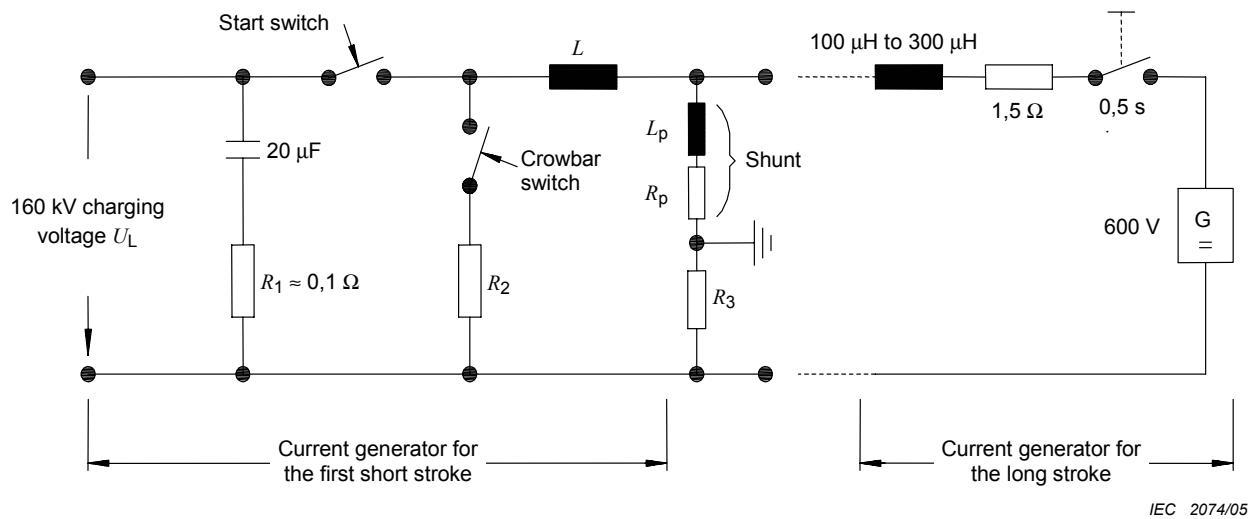
Tableau C.2 – Paramètres d’essais d’un coup de foudre de longue durée

Paramètres d’essai	Niveau de protection			Tolérance %
	I	II	III – IV	
Charge Q_{long} (C)	200	150	100	±20
Durée T (s)	0,5	0,5	0,5	±10

C.3 Simulation de la raideur du courant de montée de coups courts

La vitesse de montée du courant détermine les tensions magnétiques induites dans les boucles mises en œuvre à proximité des conducteurs écouant le courant de foudre.

La vitesse de montée du courant des coups courts est définie comme l’élévation du courant Δi pendant le temps Δt (Figure C.2). Les paramètres d’essai pour la simulation des courants de montée sont donnés dans le Tableau C.3. Des exemples de générateur d’essai sont donnés aux Figures C.3 et C.4, pouvant être utilisés pour la simulation de la raideur du front d’un courant de foudre associé à un coup de foudre direct. La simulation peut être effectuée pour un premier coup de foudre de courte durée et un coup de foudre consécutif.



IEC 2074/05

NOTE The values apply to LPL I.

Figure C.1 – Example test generator for the simulation of the specific energy of the first short stroke and the charge of the long stroke

Table C.1 – Test parameters of the first short stroke

Test parameters		LPL			Tolerance %
		I	II	III – IV	
Peak current I	(kA)	200	150	100	±10
Charge Q_s	(C)	100	75	50	±20
Specific energy W/R	(MJ/Ω)	10	5,6	2,5	±35

Table C.2 – Test parameters of the long stroke

Test parameters		LPL			Tolerance %
		I	II	III – IV	
Charge Q_{long}	(C)	200	150	100	±20
Duration T	(s)	0,5	0,5	0,5	±10

C.3 Simulation of the front current steepness of the short strokes

The steepness of the current determines the magnetically induced voltages in loops being installed near conductors carrying lightning currents.

The current steepness of a short stroke is defined as the rise of the current Δi during rise time Δt (Figure C.2). The test parameters relevant for the simulation of this current steepness are given in Table C.3. Example test generators are shown in Figures C.3 and C.4, (which may be used to simulate the front steepness of a lightning current associated with a direct lightning strike). The simulation can be done for a short first stroke and a subsequent short stroke.

NOTE Cette simulation traite de la raideur du courant de montée de coups courts. La queue du courant n'a pas d'influence dans ce type de simulation.

La simulation conforme à l'Article C.3 peut être appliquée indépendamment ou combinée avec la simulation décrite à l'Article C.2.

Pour des informations complémentaires sur les paramètres d'essais simulant les effets de la foudre sur les composants d'un SPF, voir l'Annexe D.

Tableau C.3 – Paramètres d'essai de coups de foudre de courte durée

Paramètres d'essai	Niveau de protection			Tolérance %
	I	II	III – IV	
Premier coup court				
Δi (kA)	200	150	100	± 10
Δt (µs)	10	10	10	± 20
Coups consécutifs courts				
Δi (kA)	50	37,5	25	± 10
Δt (µs)	0,25	0,25	0,25	± 20

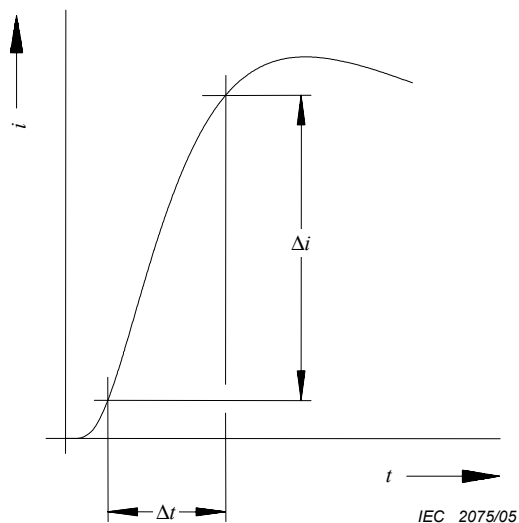


Figure C.2 – Définition de la raideur du courant conformément au Tableau C.3

NOTE This simulation covers the front current steepness of short strokes. The tail of the current has no influence on this kind of simulation.

The simulation according to Clause C.3 may be applied independently or in combination with the simulation according to Clause C.2.

For further information on test parameters simulating the effects of lightning on LPS components, see Annex D.

Table C.3 – Test parameters of the short strokes

Test parameters	LPL			Tolerance %
	I	II	III – IV	
First short stroke				
Δi (kA)	200	150	100	± 10
Δt (μs)	10	10	10	± 20
Subsequent short strokes				
Δi (kA)	50	37,5	25	± 10
Δt (μs)	0,25	0,25	0,25	± 20

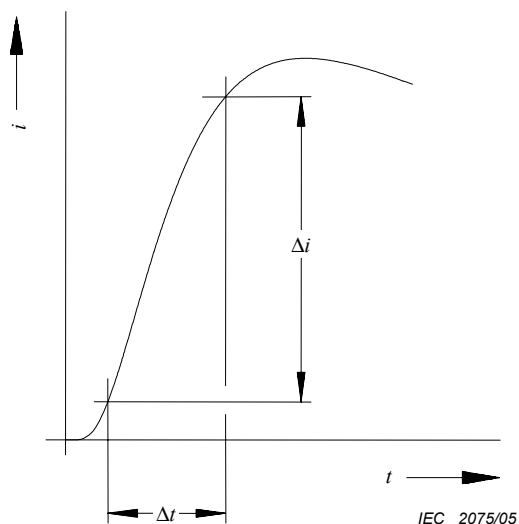
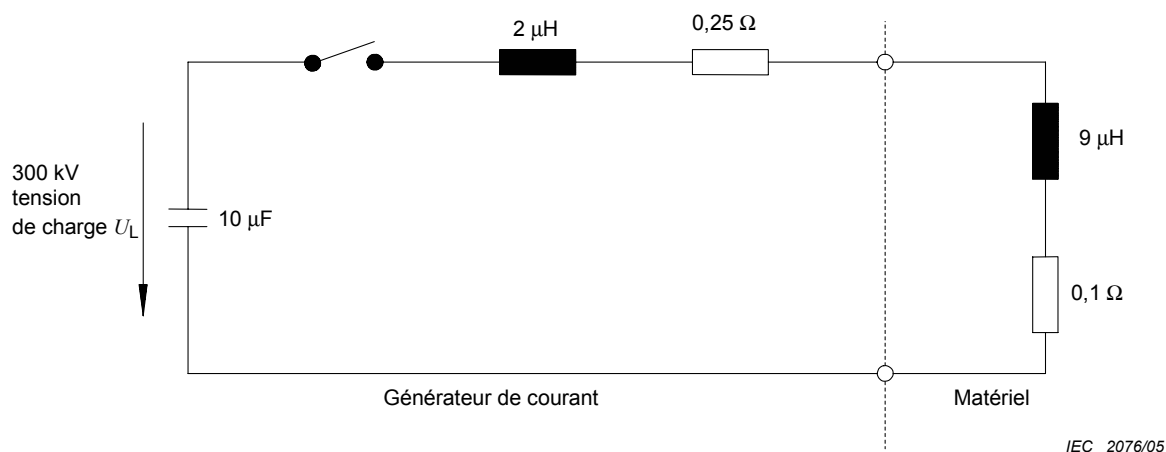
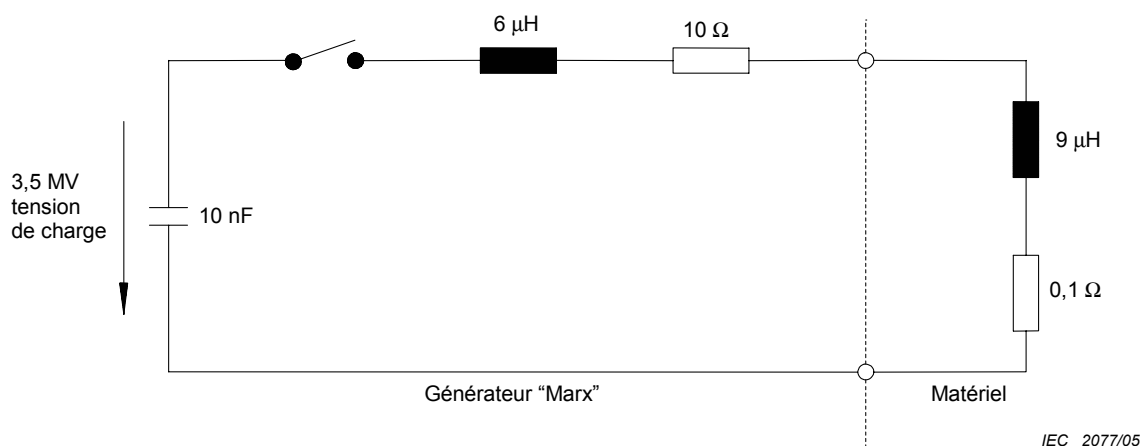


Figure C.2 – Definition for the current steepness in accordance with Table C.3



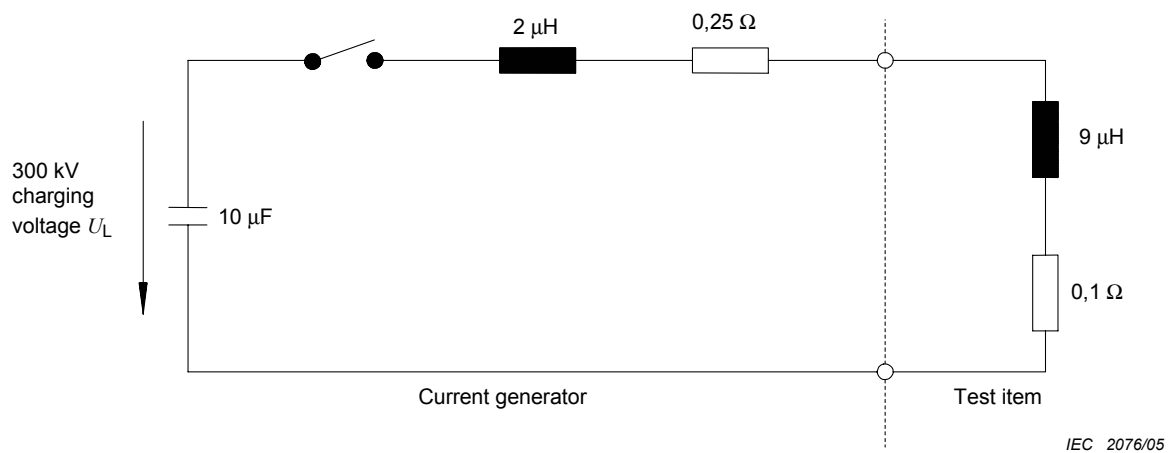
NOTE Les valeurs sont applicables au niveau de protection I.

Figure C.3 – Exemple de générateur d’essai pour la simulation de la raideur du front du premier coup de foudre court pour des appareils d’essais importants



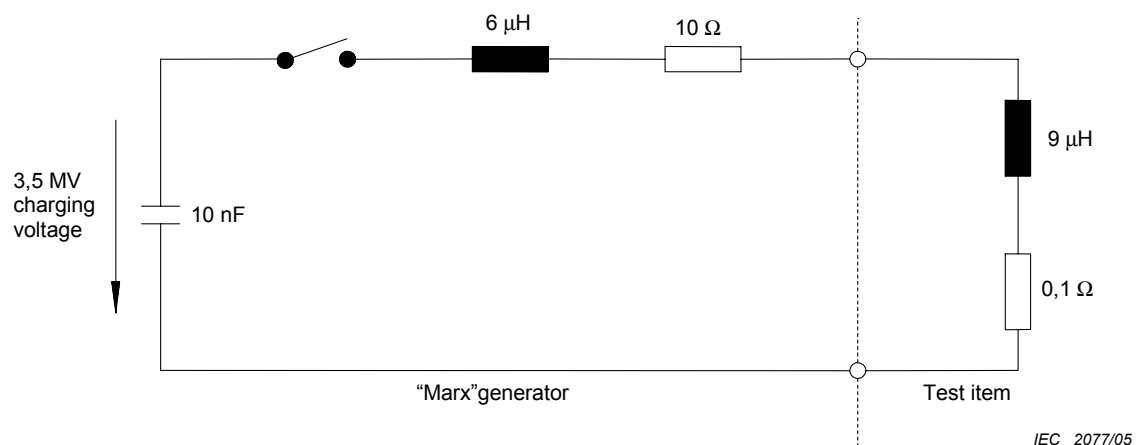
NOTE Les valeurs sont applicables au niveau de protection I.

Figure C.4 – Exemple de générateur d’essai pour la simulation de la raideur du front des coups de foudre consécutifs courts pour des matériels importants



NOTE These values apply to LPL I.

Figure C.3 – Example test generator for the simulation of the front steepness of the first short stroke for large test items



NOTE These values apply to LPL I.

Figure C.4 – Example test generator for the simulation of the front steepness of the subsequent short strokes for large test items

Annexe D (informative)

Paramètres d'essais simulant les effets de la foudre sur les composants des systèmes de protection contre la foudre (SPF)

D.1 Généralités

La présente Annexe D donne les paramètres fondamentaux à utiliser dans les laboratoires pour simuler les effets de la foudre. Cette annexe traite de tous les composants d'un SPF soumis tout ou en partie au courant de foudre et doit être utilisée en association avec les normes spécifiant les exigences et les essais pour chaque composant spécifique.

NOTE Les paramètres relatifs aux aspects des réseaux (par exemple coordination des parafoudres) ne sont pas traités dans la présente annexe.

D.2 Paramètres du courant relatifs au point d'impact

Les paramètres du courant de foudre jouant un rôle dans l'intégrité physique d'un système de protection contre la foudre sont généralement le courant crête I , la charge Q , l'énergie spécifique W/R , sa durée T et la raideur moyenne du courant di/dt . Chaque paramètre peut entraîner une défaillance différente comme indiqué ci-dessous. Les paramètres à considérer pour les essais sont des combinaisons de ces valeurs, choisies pour simuler en laboratoire le mécanisme de défaillance de la partie du système à tester. Le critère de choix des valeurs représentatives est donné à l'Article D.5.

Le Tableau D.1 donne les valeurs maximales de I , Q , W/R , T et di/dt à prendre en compte lors des essais, en fonction du niveau de protection requis.

Annex D (informative)

Test parameters simulating the effects of lightning on LPS components

D.1 General

This Annex D gives the basic parameters to be used in a laboratory to simulate the effects of lightning. This annex covers all the components of an LPS subjected to all or a major part of the lightning current and shall be used in conjunction with the standards specifying the requirements and the tests for each specific component.

NOTE Parameters relevant to system aspects (e.g. for the coordination of surge protective devices) are not considered in this annex.

D.2 Current parameters relevant to the point of strike

The lightning current parameters playing a role in the physical integrity of an LPS are in general the peak current I , the charge Q , the specific energy W/R , the duration T and the average steepness of the current di/dt . Each parameter tends to dominate a different failure mechanism, as analysed in detail below. The current parameters to be considered for tests are combinations of these values, selected to represent in laboratory the actual failure mechanism of the part of the LPS being tested. The criteria for the selection of the outstanding quantities are given in Clause D.5.

Table D.1 records the maximum values of I , Q , W/R , T and di/dt to be considered for tests, as a function of the protection level required.

Tableau D.1 – Synthèse des paramètres de foudre à considérer pour le calcul des valeurs d'essais pour divers composants des SPF et pour divers niveaux de protection

Composante	Aspects principaux	Paramètres de foudre					Notes	
Dispositif de capture	Erosion au point de contact (par exemple revêtements fins)	NPF	Q_{long} C	T				
		I	200	<1 s (pour Q_{long} en un seul coup)				
		II	150					
		III-IV	100					
Dispositif de capture et conducteurs de descente	Echauffement ohmique	NPF	W/R kJ/Ω	T			Le dimensionnement selon la CEI 62305-3 rend les essais caducs	
		I	10 000	Pour W/R en configuration adiabatique				
		II	5 600					
	III-IV	2 500						
	Effets mécaniques	NPF	I kA	W/R kJ/Ω				
		I	200	10 000				
II		150	5 600					
III-IV	100	2 500						
Composants de connexion	Effets combinés (thermiques, mécaniques et arcs)	NPF	I kA	W/R kJ/Ω	T			
		I	200	10 000	<2 ms (pour I et W/R en un seul choc)			
		II	150	5 600				
		III-IV	100	2 500				
Prises de terre	Erosion au point de contact	NPF	Q_{long} C	T			Dimensionnement déterminé par les aspects mécaniques et chimiques (corrosion, etc.)	
		I	200	<1 s (pour Q_{long} en un seul coup)				
		II	150					
		III-IV	100					
Parafoudres avec éclateurs	Effets combinés (thermiques, mécaniques et arcs)	NPF	I kA	Q_{short} C	W/R kJ/Ω	di/dt kA/μs	Pour I , Q_{short} , et W/R en un seul choc (durée $T < 2$ ms); avec $\Delta i/\Delta t$ en choc séparé	
		I	200	100	10 000	200		
		II	150	75	5 600	150		
		III-IV	100	50	2 500	100		
Parafoudres incorporant des varistances	Effets énergétiques (surcharges)	NPF	Q_{short} C				Les deux aspects doivent être contrôlés	
		I	100					
		II	75					
	Effets diélectriques (amorçages, craquelures)	NPF	I kA	T			Des essais séparés peuvent être effectués	
		I	200	<2 ms (appliquer I en un seul choc)				
		II	150					
III-IV	100							

Table D.1 – Summary of the lightning threat parameters to be considered in the calculation of the test values for the different LPS components and for the different LPL

Component	Main problem	Lightning threat parameters					Notes
Air termination	Erosion at attachment point (e.g. thin metal sheets)	LPL	Q_{long} C	T			
		I	200	<1 s (apply Q_{long} in a single shot)			
		II	150				
		III-IV	100				
Air termination and down conductor	Ohmic heating	LPL	W/R kJ/ Ω	T			Dimensioning with IEC 62305-3 render testing superfluous
		I	10 000	Apply W/R in an adiabatic configuration			
		II	5 600				
	III-IV	2 500					
	Mechanical effects	LPL	I kA	W/R kJ/ Ω			
		I	200	10 000			
II		150	5 600				
III-IV	100	2 500					
Connecting components	Combined effects (thermal, mechanical, and arcing)	LPL	I kA	W/R kJ/ Ω	T		
		I	200	10 000	<2 ms (apply I and W/R in a single pulse)		
		II	150	5 600			
		III-IV	100	2 500			
Earth terminations	Erosion at attachment point	LPL	Q_{long} C	T			Dimensioning usually determined by mechanical/chemical aspects (corrosion etc.)
		I	200	<1 s (apply Q_{long} in a single shot)			
		II	150				
		III-IV	100				
SPDs containing spark gaps	Combined effects (thermal, mechanical and arcing)	LPL	I kA	Q_{short} C	W/R kJ/ Ω	di/dt kA/ μ s	Apply I , Q_{short} and W/R in a single pulse (duration $T < 2$ ms); apply $\Delta i/\Delta t$ in a separate pulse
		I	200	100	10 000	200	
		II	150	75	5 600	150	
		III-IV	100	50	2 500	100	
SPDs containing metal-oxide resistor blocks	Energy effects (overload)	LPL	Q_{short} C				Both aspects need to be checked.
		I	100				
		II	75				
	Dielectric effect (flashover/cracking)	LPL	I kA	T			Separate tests can be considered
		I	200	<2 ms (apply I in a single pulse)			
		II	150				
III-IV	100						

D.3 Partage du courant

Les paramètres donnés dans le Tableau D.3 sont relatifs au courant de foudre au point d'impact. En réalité, le courant s'écoule à la terre par plusieurs chemins, car plusieurs conducteurs de descente et conducteurs naturels existent normalement dans une installation extérieure de protection contre la foudre et différents services pénètrent dans la structure à protéger (canalisations d'eau, de gaz, lignes de puissance et de communication, etc.). Pour la détermination des paramètres du courant s'écoulant dans des composants spécifiques du système de protection, le partage du courant doit être pris en compte. De préférence, l'amplitude et la forme du courant à travers un composant en un emplacement spécifique du système de protection doivent être estimés. Si une estimation individuelle n'est pas possible, les paramètres du courant peuvent être estimés par les méthodes qui suivent.

Pour l'évaluation du partage du courant dans l'installation extérieure de protection, le facteur de configuration k_c (voir l'Annexe C de la CEI 62305-3) peut être adopté. Ce facteur donne une estimation du partage du courant de foudre s'écoulant dans les conducteurs de descente de l'installation extérieure de protection dans les conditions les plus défavorables.

Pour l'évaluation du partage du courant en présence d'éléments conducteurs extérieurs et de lignes de puissance et de communication connectées à la structure protégée, les valeurs approximatives de k_e et de k'_e données à l'Annexe E peuvent être adoptées.

L'approche décrite ci-dessus est applicable à l'évaluation de la valeur crête du courant s'écoulant dans un chemin particulier à la terre. Le calcul des autres paramètres du courant est réalisé comme suit:

$$I_p = kI \quad (D.1)$$

$$Q_p = kQ \quad (D.2)$$

$$(W/R)_p = k^2(W/R) \quad (D.3)$$

$$\left(\frac{di}{dt}\right)_p = k\left(\frac{di}{dt}\right) \quad (D.4)$$

où

x_p est la valeur de la quantité considérée (courant I_p , charge Q_p , énergie spécifique $(W/R)_p$, raideur du courant $(di/dt)_p$) applicable d'un chemin particulier à la terre "p";

x est la valeur de la quantité considérée (courant I , charge Q , énergie spécifique (W/R) , raideur du courant (di/dt)) applicable au courant de foudre total;

k est le facteur de répartition du courant;

k_c est le facteur de répartition du courant pour un système de protection extérieur (voir l'Annexe C de la CEI 62305-3);

k_e, k'_e sont les facteurs de répartition du courant en présence de parties conductrices externes et de lignes de puissance et de communication pénétrant dans la structure protégée (voir Annexe E).

D.3 Current sharing

The parameters given in the Table D.3 are relevant to the lightning current at the point of strike. In fact, the current flows to earth through more than one path, as several down conductors and natural conductors are normally present in an external LPS. Additionally, different services normally enter the protected structure (water and gas pipes, power and telecommunication lines etc.). For the determination of the parameters of the actual current flowing in specific components of an LPS, the sharing of the current has to be taken into account. Preferably, current amplitude and waveshape through a component at a specific location of the LPS should be evaluated. Where an individual evaluation is not possible, the current parameters may be assessed by means of the following procedures.

For the evaluation of the current sharing within the external LPS, the configuration factor k_c (see Annex C of IEC 62305-3) may be adopted. This factor provides an estimate of the share of the lightning current flowing in down conductors of the external LPS under worst-case conditions.

For the evaluation of the current sharing in presence of external conductive parts and power and telecommunication lines connected to the protected structure, the approximate values of k_e and k'_e considered in Annex E may be adopted.

The above-described approach is applicable for the evaluation of the peak value of the current flowing in one particular path to earth. The calculation of the other parameters of the current is carried out as follows:

$$I_p = kI \quad (D.1)$$

$$Q_p = kQ \quad (D.2)$$

$$(W/R)_p = k^2(W/R) \quad (D.3)$$

$$\left(\frac{di}{dt}\right)_p = k\left(\frac{di}{dt}\right) \quad (D.4)$$

where

x_p is the value of the quantity considered (peak current I_p , charge Q_p , specific energy $(W/R)_p$, current steepness $(di/dt)_p$) relevant to a particular path to earth "p";

x is the value of the quantity considered (peak current I , charge Q , specific energy (W/R) , current steepness (di/dt)) relevant to the total lightning current;

k is the current sharing factor:

k_c is the current sharing factor for external LPS (see Annex C of IEC 62305-3);

k_e, k'_e are the current sharing factors in the presence of external conductive parts and power and telecommunication lines entering the protected structure (see Annex E).

D.4 Effets du courant de foudre entraînant des dommages éventuels

D.4.1 Effets thermiques

Les effets thermiques associés au courant de foudre concernent un échauffement résistif dû à la circulation d'un courant électrique s'écoulant à travers la résistance d'un conducteur ou dans un système de protection et à la chaleur générée à la racine des arcs au point d'attache et dans toutes les parties isolées du système de protection impliquées dans le développement d'un arc (par exemple éclateurs).

D.4.1.1 Echauffement résistif

Un échauffement résistif a lieu dans tout composant du système de protection écoulant une partie significative du courant de foudre. La section minimale des conducteurs doit être suffisante pour empêcher tout échauffement anormal des conducteurs et un risque d'incendie pour l'environnement. En plus des aspects thermiques considérés en D.4.1, la tenue mécanique et le critère de tenue dans le temps doivent être pris en compte pour les parties exposées à des conditions atmosphériques ou à la corrosion. L'évaluation de l'échauffement d'un conducteur dû au passage du courant est parfois nécessaire si des risques de blessure, d'incendie ou d'explosion existent.

Des lignes directrices sont données ci-après pour évaluer l'élévation de température des conducteurs soumis au passage d'un courant de foudre.

Une approche analytique est présentée comme suit:

La puissance instantanée dissipée en chaleur dans un conducteur en raison du passage d'un courant électrique est donnée par:

$$P(t) = i^2 R \quad (D.5)$$

L'énergie thermique générée par le choc de foudre est donc égale au produit de la résistance ohmique du chemin de foudre dans le composant du système de protection considéré multiplié par l'énergie spécifique du choc et est exprimée en Joules (J) ou Watt/secondes (W·s).

$$W = R \cdot \int i^2 \cdot dt \quad (D.6)$$

Lors d'une décharge de foudre, les phases à énergie spécifique très élevée de l'éclair sont de durée trop faible pour un échauffement significatif de la structure, le phénomène est donc considéré comme adiabatique.

La température de conducteurs du système de protection peut être évaluée comme suit:

$$\theta - \theta_0 = \frac{1}{\alpha} \left[\exp \frac{\frac{W}{R} \cdot \alpha \cdot \rho_0}{q^2 \cdot \gamma \cdot C_w} - 1 \right] \quad (D.7)$$

où

$\theta - \theta_0$ est l'élévation de température des conducteurs (K);

α est le coefficient de température de la résistance (1/K);

W/R est l'énergie spécifique du courant de choc (J/Ω);

ρ_0 est la résistance ohmique spécifique du conducteur à la température ambiante (Ωm);

q est la section du conducteur (m²);

D.4 Effects of lightning current causing possible damage

D.4.1 Thermal effects

Thermal effects linked with lightning current are relevant to the resistive heating caused by the circulation of an electric current flowing through the resistance of a conductor or into an LPS. Thermal effects are also relevant to the heat generated in the root of the arcs at the attachment point and in all the isolated parts of an LPS involved in arc development (e.g. spark gaps).

D.4.1.1 Resistive heating

Resistive heating takes place in any component of an LPS carrying a significant part of the lightning current. The minimum cross-sectional area of conductors must be sufficient to prevent overheating of the conductors to a level that would present a fire hazard to the surroundings. Despite the thermal aspects discussed in D.4.1, the mechanical withstand and durability criteria have to be considered for parts exposed to atmospheric conditions and/or corrosion. The evaluation of conductor heating due to lightning current flow is sometimes necessary when problems can arise because of the risk of personal injury and of fire or explosion damages.

Guidance is given below to evaluate the temperature rise of conductors subjected to the flow of a lightning current.

An analytical approach is presented as follows:

The instantaneous power dissipated as heat in a conductor due to an electrical current is expressed as:

$$P(t) = i^2 R \quad (\text{D.5})$$

The thermal energy generated by the complete lightning pulse is therefore the ohmic resistance of the lightning path through the LPS component considered, multiplied by the specific energy of the pulse. This energy is expressed in units of Joules (J) or Watt/seconds (W·s).

$$W = R \cdot \int i^2 \cdot dt \quad (\text{D.6})$$

In a lightning discharge, the high specific energy phases of the lightning flash are too short in duration for any heat generated in the structure to be dispersed significantly. The phenomenon is therefore to be considered adiabatic.

The temperature of the conductors of the LPS can be evaluated as follows:

$$\theta - \theta_0 = \frac{1}{\alpha} \left[\exp \frac{\frac{W}{R} \cdot \alpha \cdot \rho_0}{q^2 \cdot \gamma \cdot C_w} - 1 \right] \quad (\text{D.7})$$

where

- $\theta - \theta_0$ temperature rise of the conductors (K);
- α temperature coefficient of the resistance (1/K);
- W/R specific energy of the current impulse (J/Ω);
- ρ_0 specific ohmic resistance of the conductor at ambient temperature (Ωm);
- q cross-section area of the conductor (m²);

- γ est la densité du matériau (kg/m³);
- C_w est la capacité thermique (J/kgK);
- θ_s est la température de fusion (°C).

Les valeurs caractéristiques des paramètres physiques de l'Equation (D.7), pour divers matériaux utilisés dans les systèmes de protection, sont indiquées dans le Tableau D.2. Le Tableau D.3 indique, comme exemple d'application de cette équation, l'élévation de température des conducteurs en divers matériaux en fonction de W/R et de la section du conducteur.

La forme typique d'un coup de foudre est caractérisée par une durée courte (temps jusqu'à mi-valeur de quelques 100 μ s) et un courant crête élevé. Dans ces conditions, il convient de prendre aussi en compte l'évaluation de l'effet de peau. Toutefois, dans la plupart des cas pratiques intéressant les composants du système de protection, les caractéristiques des matériaux (permittivité magnétique dynamique des conducteurs du système de protection) et les configurations géométriques (section des conducteurs) réduisent la contribution de l'effet de peau à l'élévation de température des conducteurs à des niveaux négligeables.

La composante du coup de foudre qui intéresse essentiellement le mécanisme d'échauffement est le premier retour.

Tableau D.2 – Caractéristiques physiques de matériaux typiques utilisés dans les composants des SPF

Caractéristique	Matériau			
	Aluminium	Acier doux	Cuivre	Acier inox*
ρ_0 (Ω m)	29 10 ⁻⁹	120 10 ⁻⁹	17,8 10 ⁻⁹	0,7 10 ⁻⁶
α (1/K)	4,0 10 ⁻³	6,5 10 ⁻³	3,92 10 ⁻³	0,8 10 ⁻³
γ (kg/m ³)	2 700	7 700	8 920	810 ³
θ_s (°C)	658	1 530	1 080	1 500
C_s (J/kg)	397 10 ³	272 10 ³	209 10 ³	–
C_w (J/kgK)	908	469	385	500

* Austénitique non magnétique.

Tableau D.3 – Elévation de température de conducteurs de diverses sections en fonction de W/R

Section mm ²	Matériau											
	Aluminium			Acier doux			Cuivre			Acier inox*		
	W/R MJ/ Ω			W/R MJ/ Ω			W/R MJ/ Ω			W/R MJ/ Ω		
	2,5	5,6	10	2,5	5,6	10	2,5	5,6	10	2,5	5,6	10
4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
10	564	–	–	–	–	–	169	542	–	–	–	–
16	146	454	–	1120	–	–	56	143	309	–	–	–
25	52	132	283	211	913	–	22	51	98	940	–	–
50	12	28	52	37	96	211	5	12	22	190	460	940
100	3	7	12	9	20	37	1	3	5	45	100	190

* Austénitique non magnétique.

γ material density (kg/m³);
 C_w thermal capacity (J/kgK);
 θ_s melting temperature (°C).

Characteristic values of the physical parameters reported in Equation (D.7), for different materials used in LPS are recorded in Table D.2. Table D.3 reports, as an example of application of this equation, the temperature rise of conductors made of different materials, as a function of the W/R and of the conductor cross-section area.

The typical lightning stroke is characterized by a short duration stroke (time to half value of a few 100 μ s) and high current peak value. Under these circumstances, the skin effect should also be taken into consideration. However, in most of the practical cases linked with LPS components, the material characteristics (dynamic magnetic permeability of the LPS conductor) and the geometrical configurations (cross-sectional area of the LPS conductor) reduce the contribution of the skin effect in the temperature rise of the conductor to negligible levels.

The component of the lightning flash most relevant to this heating mechanism is the first return stroke.

Table D.2 – Physical characteristics of typical materials used in LPS components

Quantity	Material			
	Aluminium	Mild steel	Copper	Stainless steel*
ρ_0 (Ω m)	29 10 ⁻⁹	120 10 ⁻⁹	17,8 10 ⁻⁹	0,7 10 ⁻⁶
α (1/K)	4,0 10 ⁻³	6,5 10 ⁻³	3,92 10 ⁻³	0,8 10 ⁻³
γ (kg/m ³)	2 700	7 700	8 920	810 ³
θ_s (°C)	658	1 530	1 080	1 500
C_s (J/kg)	397 10 ³	272 10 ³	209 10 ³	–
C_w (J/kgK)	908	469	385	500

* Austenitic non magnetic.

Table D.3 – Temperature rise for conductors of different sections as a function of W/R

Cross-section mm ²	Material											
	Aluminium			Mild steel			Copper			Stainless steel*		
	W/R MJ/ Ω			W/R MJ/ Ω			W/R MJ/ Ω			W/R MJ/ Ω		
	2,5	5,6	10	2,5	5,6	10	2,5	5,6	10	2,5	5,6	10
4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
10	564	–	–	–	–	–	169	542	–	–	–	–
16	146	454	–	1 120	–	–	56	143	309	–	–	–
25	52	132	283	211	913	–	22	51	98	940	–	–
50	12	28	52	37	96	211	5	12	22	190	460	940
100	3	7	12	9	20	37	1	3	5	45	100	190

* Austenitic non magnetic.

D.4.1.2 Dommages thermique au point d'impact

Des dommages thermiques au point d'impact peuvent être observés sur tous les composants des systèmes de protection où un arc peut se développer, par exemple dispositifs de capture, éclateurs, etc.

La fusion et l'érosion des matériaux peut se produire au point d'impact. En réalité, à la racine de l'arc, il existe une entrée thermique importante depuis la racine de l'arc et une concentration d'échauffement ohmique en raison de densités élevées de courant. L'essentiel de l'énergie thermique est générée à la surface ou très près du matériau et doit donc être dissipée par conduction. La chaleur générée à proximité de la racine est en excès par rapport à celle pouvant être absorbée par conduction par le matériau; cet excès entraîne soit la fusion ou la vaporisation du matériau. La sévérité du phénomène dépend de l'amplitude du courant et de sa durée.

D.4.1.2.1 Généralités

Plusieurs modèles théoriques de calcul des effets thermiques en ce point du canal de foudre sur des surfaces métalliques ont été élaborés. Pour des raisons de simplicité, la présente norme ne traitera que du modèle de la chute de tension anode-ou-cathode. L'application de ce modèle est particulièrement efficace pour des épaisseurs métalliques faibles; dans tous les cas, il donne des résultats sûrs car il suppose que toute l'énergie injectée au point d'impact est utilisée pour la fusion ou la vaporisation du matériau conducteur, en négligeant les transferts dynamiques de chaleur dans les composants du système de protection. D'autres modèles introduisent la dépendance entre les dommages au point d'impact de la foudre et la durée du courant de choc.

D.4.1.2.2 Modèle de la chute de tension anode-ou-cathode

L'énergie d'entrée W à la racine de l'arc est supposée égale à la chute de tension anode/cathode $u_{c,a}$ multipliée par la charge Q du courant de foudre:

$$W = \int u_{a,c} i dt = u_{a,c} \int i dt = u_{a,c} \cdot Q \quad (D.8)$$

Comme $u_{a,c}$ est considérée comme constante pour les valeurs du courant, la charge du courant de foudre, Q , est essentiellement la cause de la conversion d'énergie dans la racine de l'arc.

La chute de tension anode/cathode, $u_{c,a}$ présente une valeur de quelques dizaines de volts.

En considérant en première approximation que toute l'énergie développée dans la racine de l'arc est utilisée dans la fusion du matériau, il est possible de calculer le volume de métal fondu par l'Equation (D.9).

$$V = \frac{u_{a,c} Q}{\gamma} \cdot \frac{1}{C_w (\theta_s - \theta_u) + c_s} \quad (D.9)$$

où

- V est le volume de métal fondu (m³);
- $u_{c,a}$ est la chute de tension anode-cathode (supposée constante) (V);
- Q est la charge du courant de foudre (C);
- γ est la densité du matériau (kg/m³);
- C_w est la capacité thermique (J/kgK);
- θ_s est la température de fusion (°C);
- θ_u est la température ambiante (°C);
- c_s est la chaleur spécifique de fusion (J/kg).

D.4.1.2 Attachment point thermal damage

Attachment point thermal damage can be observed on all components of an LPS on which an arc development takes place, i.e. air-termination systems, spark gaps, etc.

Material melting and erosion can occur at the attachment point. In fact, in the arc root area there is a large thermal input from the arc root itself, as well as a concentration of ohmic heating due to the high current densities. Most of the thermal energy is generated at or very close to the surface of the metal. The heat generated in the immediate root area is in excess of that which can be absorbed into the metal by conduction and the excess is irradiated or lost in melting or vaporizing of metal. The severity of the process is linked to the current amplitude and to the duration.

D.4.1.2.1 General

Several theoretical models have been developed for the calculation of thermal effects on metal surfaces at the attachment point of a lightning channel. For sake of simplicity, this standard will report only the anode-or-cathode voltage drop model. The application of this model is particularly effective for thin metal skins. In all cases, it gives conservative results as it postulates that all the energy injected in the lightning attachment point is used to melt or vaporize conductor material, neglecting the heat diffusion within the metal. Other models introduce the dependence of the lightning attachment point damage on the duration of the current impulse.

D.4.1.2.2 Anode-or-cathode voltage drop model

The energy input W at the arc root is assumed as given by the anode/cathode voltage drop $u_{a,c}$ multiplied by the charge Q of the lightning current:

$$W = \int u_{a,c} i dt = u_{a,c} \int i dt = u_{a,c} \cdot Q \quad (\text{D.8})$$

As $u_{a,c}$ is fairly constant in the current range considered here, the charge of the lightning current (Q) is primarily responsible for the energy conversion in the arc root.

The anode-or-cathode voltage drop $u_{a,c}$ has a value of a few tens of volts.

A simplified approach assumes that all of the energy developed at the arc root is used only for melting. Equation (D.9) uses this assumption but leads to an overestimate of the melted volume

$$V = \frac{u_{a,c} Q}{\gamma} \cdot \frac{1}{C_w (\theta_s - \theta_u) + c_s} \quad (\text{D.9})$$

where

- V is the volume of metal melted (m^3);
- $u_{a,c}$ is the anode-or-cathode voltage drop (assumed as constant) (V);
- Q is the charge of the lightning current (C);
- γ is the material density (kg/m^3);
- C_w is the thermal capacity (J/kgK);
- θ_s is the melting temperature ($^{\circ}\text{C}$);
- θ_u is the ambient temperature ($^{\circ}\text{C}$);
- c_s is the latent heat of melting (J/kg).

Les valeurs caractéristiques des paramètres physiques de cette équation, pour divers matériaux utilisés dans les systèmes de protection, sont indiquées dans le Tableau D.2.

En fait, la charge à considérer est la somme des charges du coup en retour et du courant de suite de foudre. De nombreuses années d'expérience de laboratoire ont montré que les effets de la charge du coup en retour sont mineurs par rapport à ceux du courant de suite.

D.4.2 Effets mécaniques

Les effets mécaniques liés au courant de foudre dépendent de l'amplitude et de durée du courant, ainsi que des caractéristiques élastiques de la structure mécanique affectée. Les effets mécaniques dépendent aussi des forces de friction agissant entre les parties éventuellement en contact avec les SPF.

Des forces magnétiques apparaissent entre deux conducteurs indépendants parcourus par un courant ou lorsqu'il n'existe qu'un seul conducteur, forme un coin ou une boucle.

Lorsqu'un courant parcourt un circuit, l'amplitude des forces électrodynamiques dans les divers points du circuit sont fonction de l'amplitude du courant de foudre et de la configuration géométrique du circuit. L'effet mécanique de ces forces est fonction, non seulement de leur amplitude, mais aussi de la forme générale du courant, de sa durée et de la configuration géométrique de l'installation.

D.4.2.1.1 Forces électrodynamiques

Les forces électrodynamiques dues au courant, i , s'écoulant dans un conducteur présentant deux branches parallèles de longueur l et à une distance d (boucle longue et étroite), voir Figure D.1, peuvent être approximativement calculées par l'équation suivante:

$$F(t) = \frac{\mu_0}{2\pi} i^2(t) \frac{l}{d} = 2 \cdot 10^{-7} i^2(t) \frac{l}{d} \quad (\text{D.10})$$

où

$F(t)$ est la force électrodynamique (N);

i est le courant (A);

μ_0 est la perméabilité magnétique dans l'espace (vide) ($4\pi 10^{-7}$ H/m);

l est la longueur des conducteurs (m);

d est la distance entre les branches parallèles du conducteur (m).

Characteristic values of the physical parameters reported in this equation, for different materials used in an LPS, are recorded in Table D.2.

Basically, the charge to be considered is the sum of the charge of the return stroke and the lightning continuing current. Laboratory experience has revealed that the effects of the return stroke charge are of minor importance when compared to the effects of the continuing current.

D.4.2 Mechanical effects

Mechanical effects caused by the lightning current depend on the amplitude and the duration of the current as well as on the elastic characteristics of the affected mechanical structure. Mechanical effects also depend on the friction forces acting between parts of the LPS in contact with one another, where relevant.

D.4.2.1 Magnetic interaction

Magnetic forces occur between two current-carrying conductors or, if only one current-carrying conductor exists, forms a corner or a loop.

When a current flows through a circuit, the amplitude of the electrodynamic forces developed at the various positions of the circuit depend on both the amplitude of the lightning current and the geometrical configuration of the circuit. The mechanical effect of these forces, however, depends not only on their amplitude but also on the general form of the current, duration, as well as on the geometrical configuration of the installation.

D.4.2.1.1 Electrodynamic forces

Electrodynamic forces developed by a current, i , flowing into a conductor having long parallel sections of length l and distance d (long and small loop), as shown in Figure D.1, can be approximately calculated using the following equation:

$$F(t) = \frac{\mu_0}{2\pi} i^2(t) \frac{l}{d} = 2 \cdot 10^{-7} i^2(t) \frac{l}{d} \quad (\text{D.10})$$

where

$F(t)$ is the electrodynamic force (N);

i is the current (A);

μ_0 is the magnetic permeability of free space (vacuum) ($4\pi 10^{-7}$ H/m);

l is the length of conductors (m);

d is the distance between the straight parallel sections of the conductor (m).

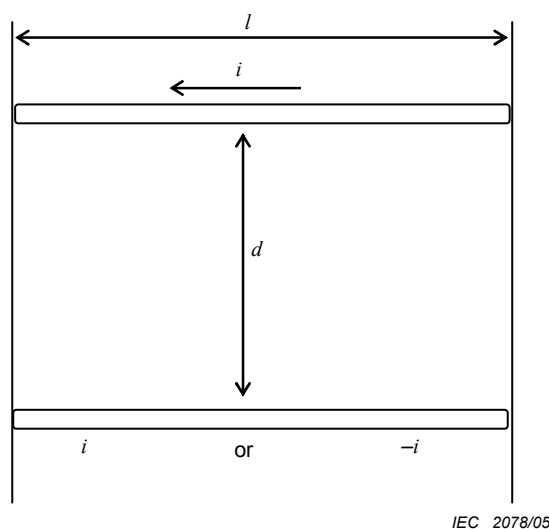


Figure D.1 – Disposition générale de deux conducteurs pour le calcul des forces électrodynamiques

Un exemple typique de protection est donné par une disposition en coin de conducteurs, formant un angle de 90° , avec une fixation à proximité du coin comme présenté à la Figure D.2. Le diagramme des contraintes pour cette configuration est montré à la Figure D.3. La force axiale sur le conducteur horizontal tend à arracher le conducteur de sa fixation. La valeur numérique de la force le long d'un conducteur horizontal, pour une valeur crête de courant de 100 kA et une longueur verticale du conducteur de 0,5 m est indiquée à la Figure D.4.

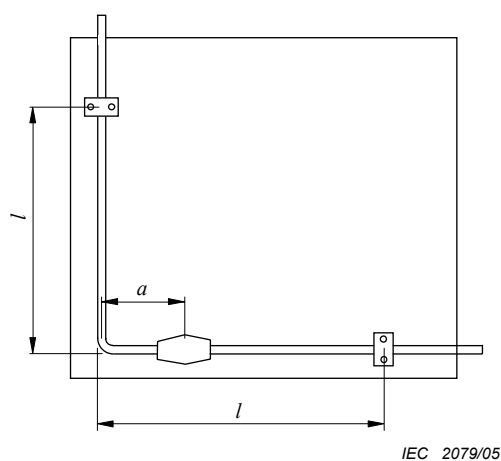


Figure D.2 – Disposition typique des conducteurs d'une installation de protection contre la foudre

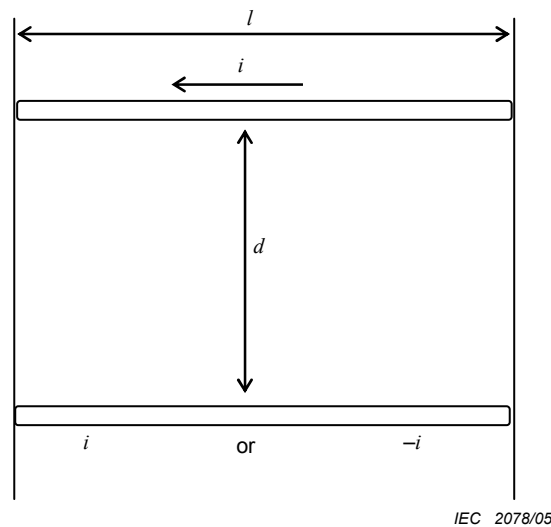


Figure D.1 – General arrangement of two conductors for the calculation of electrodynamic force

In an LPS a typical example is given by a symmetric corner arrangement of conductors, forming an angle of 90° , with a clamp positioned in the vicinity of the corner as shown in Figure D.2. The diagram of the stresses for this configuration is reported in Figure D.3. The axial force on the horizontal conductor tends to pull the conductor out of the clamp. The numerical value of the force along the horizontal conductor, considering a peak current value of 100 kA and a length of a vertical conductor of 0,5 m, is shown in Figure D.4.

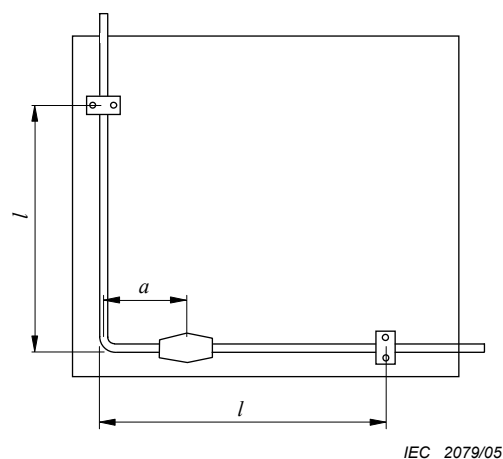


Figure D.2 – Typical conductor arrangement in an LPS

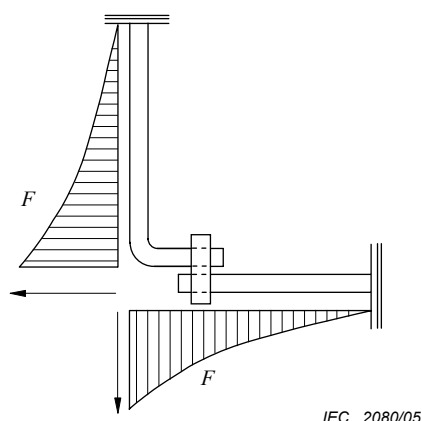
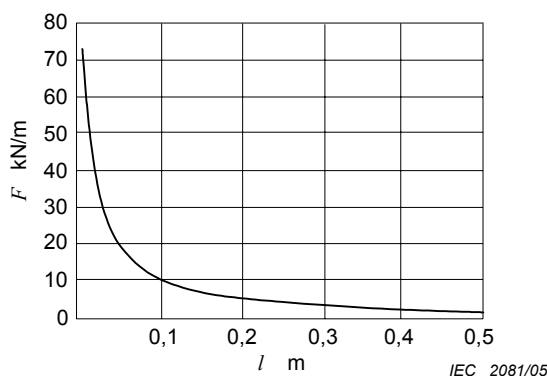


Figure D.3 – Diagramme des contraintes pour la configuration de la Figure D.2



NOTE Valeur du courant crête de 100 kA et longueur du conducteur vertical de 0,5 m.

Figure D.4 – Force par unité de longueur le long du conducteur horizontal de la Figure D.2

D.4.2.1.2 Effets des forces électrodynamiques

En terme d'amplitude des forces appliquées, la valeur instantanée de la force électrodynamique $F(t)$ est proportionnelle au carré du courant instantané $I(t)^2$. En terme de contrainte de la structure (exprimée par le produit de la déformation élastique $\delta(t)$ et de la constante d'élasticité de la structure k du SPF, il convient de considérer deux effets. La fréquence naturelle mécanique (liée à la tenue élastique de la structure du SPF) et la déformation permanente de la structure liée à la tenue plastique, sont à prendre en compte; de plus, dans de nombreux cas, l'effet des forces de friction dans la structure a aussi une importance significative.

L'amplitude des vibrations de la structure élastique du SPF due aux forces électrodynamiques développées dans le courant de foudre peut être calculée au moyen d'équations différentielles du deuxième degré; le facteur essentiel est le rapport entre la durée du courant de choc et la période de l'oscillation mécanique naturelle de la structure. La condition typique rencontrée pour les SPF est une période naturelle d'oscillation de la structure beaucoup plus élevée que celle de la force appliquée (la durée du courant de foudre). Dans ce cas, la contrainte mécanique maximale apparaît après l'arrêt du courant de choc et présente une valeur crête restant inférieure à la contrainte appliquée, et peut ainsi être négligée dans la plupart des cas.

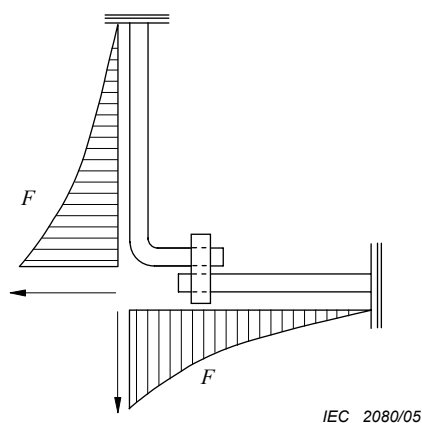
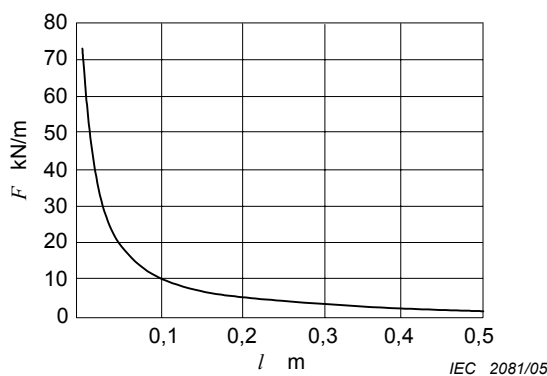


Figure D.3 – Diagram of the stresses for the configuration of Figure D.2



NOTE Peak current value 100 kA and length of vertical conductor 0,5 m.

Figure D.4 – Force per unit length along the horizontal conductor of Figure D.2

D.4.2.1.2 Effects of electrodynamic forces

In terms of amplitude of applied force, the instantaneous value of the electrodynamic force $F(t)$ is proportional to the square of the instantaneous current $I(t)^2$. In terms of the stress development within the mechanical LPS structure, expressed by the product of the elastic deformation $\delta(t)$ and the elastic constant k of the LPS structure, two effects should be considered. The natural mechanical frequency (linked with the elastic behaviour of the LPS structure) and the permanent deformation of the LPS structure (linked with its plastic behaviour) are the most important parameters. Moreover, in many cases the effect of the friction forces within the structure are also of significant importance.

The amplitude of the vibrations of the elastic LPS structure, caused by an electrodynamic force developed by the lightning current, can be evaluated by means of second order differential equations; the key factor being the ratio between the duration of the current impulse and the period of natural mechanical oscillation of the LPS structure. The typical condition encountered in LPS applications consists of natural oscillation periods of the structure much longer than that of the applied force (duration of the lightning current impulse). In this case the maximum mechanical stress occurs after the cessation of the current impulse and has a peak value that remains lower than that of the applied force. In most cases, maximum mechanical stress can be neglected.

Les déformations plastiques apparaissent lorsque la contrainte en tension est supérieure à la contrainte élastique du matériau. Si le matériau du SPF est doux, tel que aluminium ou cuivre annelé, les forces électrodynamiques peuvent déformer les conducteurs en coin ou en boucle. Il est recommandé que les conducteurs des SPF soient toutefois conçus pour résister à ces forces et présenter essentiellement une tenue élastique.

La contrainte totale mécanique appliquée à la structure du SPF dépend de l'intégrale de temps des forces appliquées, et par suite de l'énergie spécifique associée au courant de choc. Il a été démontré que le courant instantané crête de choc et sa durée (comparée à la période d'oscillation naturelle de la structure) ont une influence considérable et doivent donc être pris en compte lors des essais.

D.4.2.2 Dommages dus à l'onde de choc acoustique

Lorsqu'un courant de foudre s'écoule à travers un arc, une onde de choc est produite. La sévérité du choc est fonction de la valeur crête du courant et de son taux de montée.

En général, les dommages dus à l'onde acoustique de choc sont insignifiants sur les parties métalliques du SPF, mais peuvent agir sur les composants environnants.

D.4.2.3 Effets combinés

En pratique, les effets thermiques et mécaniques apparaissent simultanément. Si l'échauffement des matériaux des composants (tiges, fixations, etc.) est suffisant pour ramollir les matériaux, des dommages plus importants que ceux dus aux seules forces peuvent apparaître. Dans le cas extrême où le conducteur peut fondre et exploser, cela entraîne des dommages considérables pour la structure environnante. Si la section du matériau est suffisante pour supporter de manière sûre ces phénomènes, seule l'intégrité mécanique est vérifiée.

D.4.3 Étincelles

En général, les étincelles ne deviennent importantes qu'en présence d'environnements inflammables: pour les composants des SPF, dans la pratique, l'étincelage n'est pas important.

Deux types d'étincelles peuvent apparaître, par exemple étincelle thermique ou étincelle de tension. Des étincelles thermiques surviennent lorsqu'un très fort courant est contraint de traverser un joint entre deux matériaux conducteurs. La plupart des étincelles thermiques apparaissent sur les bords, à l'intérieur du joint si la pression de l'interface est trop faible: la cause primaire en est une densité de courant élevée et une pression de surface inadaptée. L'intensité des étincelles thermiques est fonction de l'énergie spécifique et, pour cette raison, la phase critique du coup de foudre est le premier coup en retour. Les étincelles en tension apparaissent lorsque le courant est obligé de prendre des chemins de contournement, par exemple dans un joint, et si la tension induite dans une telle boucle dépasse la tension de claquage entre les parties métalliques. La tension induite est proportionnelle à l'inductance propre multipliée par la raideur du courant de foudre. La composante la plus critique de la foudre pour les étincelles en tension est donc le coup consécutif négatif.

D.5 Composants des SPF, problèmes afférents et paramètres d'essai

Les SPF sont constitués de composants en divers matériaux, chacun ayant une fonction spécifique dans le système. La nature des composants et les contraintes spécifiques auxquelles ils sont soumis nécessitent une étude particulière lors de l'élaboration d'essais en laboratoire pour vérifier leurs performances.

Plastic deformation occurs when the tensile stress exceeds the elastic limit of the material. If the material composing the LPS structure is soft, for example aluminum or annealed copper, the electrodynamic forces can deform the conductors in corners and loops. LPS components should therefore be designed to withstand these forces and to show essentially an elastic behaviour.

The total mechanical stress applied to the LPS structure depends on the time integral of the applied force and therefore on the specific energy associated with the current impulse. It also depends on the waveshape of the current impulse and its duration (compared with the period of natural oscillation of the structure). All these influencing parameters must therefore be taken into account during testing.

D.4.2.2 Acoustic shock wave damage

When a lightning current flows in an arc, a shock wave is produced. The severity of the shock is dependent upon the peak current value and the rate of rise of the current.

In general, the damage due to the acoustic shock wave is insignificant on metal parts of the LPS, but can cause damage to surrounding items.

D.4.2.3 Combined effects

In practice, both thermal and mechanical effects occur simultaneously. If the heating of the material of the components (rods, clamps, etc.) is sufficient to soften the materials, much greater damage can occur than otherwise. In extreme cases, the conductor could explosively fuse and cause considerable damage to surrounding structure. If the cross-section of the metal is sufficient to safely handle the overall action, only mechanical integrity need be checked.

D.4.3 Sparking

In general, sparking becomes important only in flammable environments.: In most practical cases, sparking is not important for LPS components.

Two different types of sparking can occur, i.e. thermal sparking and voltage sparking. Thermal sparking occurs when a very high current is forced to cross a joint between two conducting materials. Most thermal sparking occur near the edges inside a joint if the interface pressure is too low; due primarily to high current density and inadequate interface pressure. The intensity of the thermal sparking is linked to the specific energy and therefore, the most critical phase of the lightning is the first return stroke. Voltage sparking occurs where the current is forced to take convoluted paths, e.g. inside a joint, if the voltage induced in such a loop exceeds the breakdown voltage between the metal parts. The induced voltage is proportional to the self inductance multiplied by the steepness of the lightning current. The most critical lightning component for voltage sparking is therefore the subsequent negative stroke.

D.5 LPS components, relevant problems and test parameters

Lightning protection systems are made of several different components, each having a specific function within the system. The nature of the components and the specific stresses to which they are subjected, requires special consideration when setting up laboratory tests to check their performance.

D.5.1 Dispositif de capture

Les effets des contraintes sur les dispositifs de capture dus à la foudre sont liés aux effets magnétiques et thermiques (comme examiné en D.5.2 ci-après en considérant qu'un fort pourcentage du courant de foudre s'écoulera dans le dispositif concerné), et parfois aux effets d'érosion dus à un arc, particulièrement dans des composants naturels de systèmes de protection contre la foudre comme des couvertures fines métalliques de toitures (où des percements et des élévations excessive de température de surface peuvent apparaître) et aux dispositifs suspendus.

Pour les effets d'érosion dus à un arc, il convient de prendre en compte deux paramètres d'essai essentiels par exemple la charge du courant de choc de longue durée et sa durée.

La charge définit l'entrée d'énergie à la racine de l'arc. En particulier, l'apport du premier coup peut être négligé si des coups de longue dure semblent plus sévères pour ce composant.

La durée du courant présente un rôle important dans le phénomène de transfert de chaleur dans le matériau. La durée des courants lors des essais doit être comparable à celle des coups de longue durée (0,5 s à 1 s).

D.5.2 Conducteurs de descente

Les contraintes exercées sur les conducteurs de descente par la foudre peuvent être divisées en deux grandes catégories:

- les contraintes thermiques dues à l'échauffement résistif;
- les contraintes mécaniques liées à l'interaction magnétique dans les cas où le courant de foudre se partage dans des conducteurs proches les uns des autres ou lorsque le courant change de direction (courbes ou connexions entre conducteurs présentant un angle donné).

Dans la plupart des cas, ces deux effets agissent indépendamment l'un de l'autre et des essais séparés en laboratoire peuvent être effectués pour vérifier chacun de ces effets. Cette approche peut être adoptée dans les cas où la chaleur dissipée par le passage du courant de foudre ne modifie pas de manière substantielle les caractéristiques mécaniques.

D.5.2.1 Echauffement résistif

Les calculs et les mesures de l'échauffement de conducteurs de diverses sections et en divers matériaux dû au passage du courant de foudre circulant le long des conducteurs ont été publiés par plusieurs auteurs. et les principaux résultats sont indiqués en D.4.1.1 sous forme de graphiques et de formules. Aucun essai de laboratoire n'est donc généralement nécessaire pour vérifier la tenue d'un conducteur à l'élévation de température.

Pour tous les cas où un essai de laboratoire est prescrit, les considérations suivantes doivent être prises en compte.

Les principaux paramètres d'essai à prendre en compte sont l'énergie spécifique et la durée du courant de choc.

L'énergie spécifique définit l'élévation de température due à l'échauffement Joule dû au passage du courant de foudre. Les valeurs numériques à prendre en compte sont celles relatives au premier choc. Des données conservatoires sont obtenues en prenant en compte les coups positifs.

D.5.1 Air-termination

Effects on air-termination systems arise from both mechanical and thermal effects (as discussed below in D.5.2, but noting that a high proportion of the lightning current will flow in an air-termination conductor which is struck) and also in some cases arc erosion effects, particularly in natural LPS components such as thin metal roof skins (where puncture or excessive rear surface temperature rise may occur) and suspended conductors.

For arc erosion effects, two main test parameters should be considered: i.e. the charge of the long duration current and its duration.

The charge governs the energy input at the arc root. In particular, long duration strokes appear to be the most severe for this effect whilst short duration strokes can be neglected.

The duration of the current has an important role in the heat transfer phenomena into the material. The duration of the current applied during the tests shall be comparable to those of long duration strokes (0,5 s to 1 s).

D.5.2 Down conductors

Effects on down conductors caused by lightning can be divided into two main categories:

- thermal effects due to resistive heating;
- mechanical effects linked with the magnetic interaction where the lightning current is shared by conductors positioned in the vicinity of one another or when the current changes direction (bends or connections between conductors positioned at a given angle with respect to one another).

In most cases these two effects act independently from each other and separate laboratory tests can be carried out to check each effect. This approach can be adopted in all cases in which the heating developed by the lightning current flow does not modify substantially the mechanical characteristics.

D.5.2.1 Resistive heating

Calculations and measurements relating to the heating of conductors of different cross-sections and materials due to lightning current flowing along a conductor have been published by several authors. The main results in terms of plots and formulae are summarized in D.4.1.1. No laboratory test is therefore necessary, in general, to check the behaviour of a conductor with respect to temperature rise.

In all cases for which a laboratory test is required, the following considerations shall be taken into account.

The main test parameters to be considered in this case are the specific energy and the impulse current duration.

The specific energy governs the temperature rise due to the Joule heating caused by the flow of the lightning current. Numerical values to be considered are those relevant to the first stroke. Conservative data are obtained by considering positive strokes.

La durée du courant de choc a une influence décisive sur le processus d'échange de chaleur en fonction de l'environnement ambiant du conducteur considéré. Dans la plupart des cas, la durée du courant de choc est si faible que le phénomène d'échauffement peut être considéré comme adiabatique.

D.5.2.2 Effets mécaniques

Comme déjà examiné en D.4.2.1, les interactions mécaniques se développent entre des conducteurs parcourus par le courant de foudre: la force est proportionnelle au produit des courants s'écoulant dans les conducteurs (ou au carré du courant si une simple courbure est considérée) et est proportionnelle à l'inverse de la distance entre les conducteurs.

La situation typique pour laquelle un effet visible peut exister est celle où un conducteur forme une boucle ou un coin à angle droit. Quand un tel conducteur doit écouler le courant de foudre, il est soumis à une force mécanique qui tend à élargir la boucle et à redresser le coin et cela entraîne une courbure inverse. La valeur de cette force est proportionnelle au carré du courant. Toutefois, il convient qu'une distinction nette soit faite entre les forces électrodynamiques proportionnelles au carré du courant et aux contraintes correspondantes fonction des caractéristiques élastiques de la structure mécanique du SPF. Pour des structures de SPF présentant des fréquences naturelles faibles, la contrainte dans la structure sera nettement inférieure à la force électrodynamique. Dans ce cas, aucun essai de laboratoire n'est généralement nécessaire pour vérifier la tenue d'une courbure ou de coin à angle droit d'un conducteur sur le plan mécanique, si les sections prescrites dans la présente norme sont satisfaites.

Si un essai de laboratoire est prescrit (particulièrement pour les matériaux doux), les considérations suivantes doivent être prises en compte. Trois paramètres sont pris en compte: par exemple la durée, l'énergie spécifique du courant de choc et, dans le cas de systèmes rigides, l'amplitude du courant.

La durée du courant de choc, comparée à la période naturelle d'oscillation mécanique de la structure, définit le type de réponse mécanique du système pour le déplacement:

- Si la durée du choc est beaucoup plus petite que la période naturelle d'oscillation mécanique de la structure (cas normal pour des SPF subissant des contraintes de coup de foudre), la masse et l'élasticité du système l'empêche de se déplacer de manière appréciable et la contrainte mécanique est essentiellement liée à l'énergie spécifique du courant de choc. La valeur crête du courant de choc a un effet limité.
- Si la durée du choc est comparable ou plus élevée que la période naturelle d'oscillation mécanique de la structure, le déplacement du système est plus sensible à la forme d'onde de la contrainte appliquée. Dans ce cas, la valeur crête du courant de choc et son énergie spécifique doivent être reproduites lors des essais.

L'énergie spécifique du courant de choc définit la contrainte entraînant les déformations élastiques et plastiques de la structure. Les valeurs numériques à considérer sont celles relatives au premier coup.

Les valeurs maximales du courant de choc définissent la longueur du déplacement maximal de la structure, en cas de systèmes rigides avec des fréquences d'oscillations naturelles élevées. Les valeurs numériques à considérer sont celles relatives au premier coup.

D.5.3 Composants de connexion

Les composants de connexion entre les conducteurs adjacents d'un SPF représentent des points possibles de défauts du système de protection, tant au point de vue mécanique qu'électrique lors de très grandes contraintes.

The impulse current duration has a decisive influence on the heat exchange process with respect to the ambient conditions surrounding the considered conductor. In most cases the duration of the impulse current is so short that the heating process can be considered adiabatic.

D.5.2.2 Mechanical effects

As discussed in D.4.2.1, mechanical interactions are developed between conductors carrying lightning current. The force is proportional to the product of the currents flowing in the conductors (or to the square of the current if a single bent conductor is considered) and is linked with the inverse of the distance between the conductors.

The usual situation in which a visible effect can occur is when a conductor forms a loop or is bent. When such a conductor carries the lightning current, it will be subjected to a mechanical force which tries to extend the loop and to straighten the corner and thus to bend it outward. The magnitude of this force is proportional to the square of the current amplitude. A clear distinction should be made, however, between the electrodynamic force, which is proportional to the square of the current amplitude, and the corresponding stress dependent on the elastic characteristics of the mechanical LPS structure. For LPS structures of relatively low natural frequencies, the stress developed within the LPS structure would be considerably lower than the electrodynamic force. In this case, no laboratory test is necessary to check the mechanical behaviour of a conductor bent at a right-angle as long as the cross-sectional areas of the present standard requirements are fulfilled.

In all cases for which a laboratory test is required (especially for soft materials), the following considerations shall be taken into account. Three parameters of the first return stroke are to be considered: the duration, the specific energy of the impulse current and, in the case of rigid systems, the amplitude of the current.

The duration of the impulse current, compared with the period of the natural mechanical oscillation of the LPS structure, governs the type of mechanical response of the system in terms of displacement:

- If the duration of the impulse is much shorter than the period of natural mechanical oscillation of the LPS structure (normal case for LPS structures stressed by lightning impulses), the mass and elasticity of the system prevents it from being displaced appreciably and the relevant mechanical stress is essentially related to the specific energy of the current impulse. The peak value of the impulse current has a limited effect.
- If the duration of the impulse is comparable with or higher than the period of natural mechanical oscillation of the structure, the displacement of the system is more sensitive to the waveshape of the applied stress. In this case, the peak value of the current impulse and its specific energy needs to be reproduced during the test.

The specific energy of the impulse current governs the stress causing the elastic and plastic deformation of the LPS structure. Numerical values to be considered are those relevant to the first stroke.

The maximum values of the impulse current govern the length of the maximum displacement of the LPS structure, in case of rigid systems, having high natural oscillation frequencies. Numerical values to be considered are those relevant to the first stroke.

D.5.3 Connecting components

Connecting components between adjacent conductors of an LPS are possible points of mechanical and thermal weakness where very high stresses occur.

Si un connecteur est placé d'une manière telle que le conducteur suive un angle droit, les effets principaux des contraintes sont liés aux forces mécaniques qui tendent à raidir la fixation du conducteur et à contraindre la connexion en raison des forces de friction résistantes entre le composant de connexion et les conducteurs. Le développement d'arcs aux points de contact des différentes parties est possible. De plus, l'échauffement dû à la concentration de courant sur de petites surfaces a un effet non négligeable.

Les essais en laboratoire ont montré qu'il est difficile de séparer chaque effet les uns des autres car une synergie complexe s'établit. La contrainte mécanique est affectée par une fonte locale de la zone de contact. Des déplacements relatifs entre des parties du connecteur entraînent le développement d'arcs et consécutivement, une génération intense de chaleur.

En l'absence de modèle applicable, il convient que les essais en laboratoire soient menés de manière à simuler d'aussi près que possible les paramètres concernés du courant de foudre dans le cas le plus défavorable, c'est-à-dire les paramètres du courant de foudre doivent être appliqués au moyen d'une seule contrainte électrique.

Dans ce cas, trois paramètres sont pris en compte: la valeur crête, l'énergie spécifique et la durée du courant de choc.

Les valeurs maximales du courant de choc déterminent la force maximale, ou si pendant ou après la force de traction électrodynamique dépasse la force de friction, la longueur du déplacement maximal de la structure du SPF. Les valeurs numériques à considérer sont celles relatives au premier coup. Des données conservatoires sont obtenues à partir des coups positifs.

L'énergie spécifique du courant de choc détermine l'échauffement sur les surfaces de contact lorsque le courant se concentre sur de petites surfaces. Les valeurs numériques à considérer sont celles relatives au premier coup. Des données conservatoires sont obtenues à partir des coups positifs.

La durée du courant de choc détermine le déplacement maximal de la structure, après dépassement des forces de friction et a un rôle important dans le phénomène de transfert de chaleur dans le matériau.

D.5.4 Prises de terre

Les vrais problèmes concernant la prise de terre sont liés à la corrosion chimique et aux dommages mécaniques dus aux forces autres qu'électrodynamiques. En pratique, les érosions des extrémités des composants à la racine de l'arc dans le sol présentent une importance mineure. Il est toutefois supposé, contrairement aux dispositifs de capture, qu'un système de protection a plusieurs électrodes. Ainsi, le courant de foudre est partagé entre plusieurs électrodes et entraîne moins d'effets à la racine de l'arc.

Deux paramètres principaux sont considérés dans ce cas, la charge d'un courant de choc de longue durée et sa durée.

La charge détermine l'entrée d'énergie à la racine de l'arc. En particulier, l'apport du premier coup peut être négligé si des coups de longue durée semblent plus sévères pour ce composant.

La durée du courant de choc présente un rôle important dans le phénomène de transfert de chaleur dans le matériau. La durée des courants de choc lors des essais doit être comparable à celle des coups de longue durée (0,5 s à 1 s).

In the case of a connector placed in such a manner as to make the conductor follow a right angle, the main effects of the stresses are linked with mechanical forces which tend to straighten the conductor set and resisting friction forces between the connecting component and the conductors pulling the connection apart. The development of arcs at the points of contact of the different parts is possible. Moreover, the heating effect caused by the concentration of current over small contact surfaces has a notable effect.

Laboratory tests have shown that it is difficult to separate each effect from one another as a complex synergism takes place. Mechanical strength is affected by local melting of the area of contact. Relative displacements between parts of the connection components promote the development of arcs and the consequential intense heat generation.

In the absence of a valid model, laboratory tests should be conducted in such a way as to represent as closely as possible the appropriate parameters of the lightning current in the most critical situation: i.e. the appropriate parameters of the lightning current shall be applied by means of a single electrical test.

Three parameters are to be considered in this case: the peak value, the specific energy and the duration of the impulse current.

The maximum values of the impulse current governs the maximum force, or, if and after the electrodynamic pulling force exceeds the friction force, the length of the maximum displacement of the LPS structure. Numerical values to be considered are those relevant to the first stroke. Conservative data are obtained by considering positive strokes.

The specific energy of the current impulse governs the heating at contact surfaces where the current is concentrated over small areas. Numerical values to be considered are those relevant to the first stroke. Conservative data are obtained by considering positive strokes.

The duration of the impulse current governs the maximum displacement of the structure after friction forces are exceeded and has an important role in the heat transfer phenomena into the material.

D.5.4 Earth termination

The real problems with earth termination electrodes are linked with chemical corrosion and mechanical damages caused by forces other than electrodynamic forces. In practical cases, erosion of the earth electrode at the arc root is of minor importance. It is, however, to be considered that, contrary to air terminations, a typical LPS has several earth terminations. The lightning current will be shared between several earthing electrodes, thus causing less important effects at the arc root.

Two main test parameters are to be considered in this case: the charge and duration of the long duration impulse current.

The charge governs the energy input at the arc root. In particular, the contribution of the first stroke can be neglected since long duration strokes appear to be the most severe for this component.

The duration of the current impulse has an important role in the heat transfer phenomena into the material. The duration of the current impulses applied during the tests shall be comparable to those of long duration strokes (0,5 s to 1s).

D.6 Parafoudres

Les effets des contraintes dues à la foudre sur les parafoudres sont fonction du type de parafoudre avec la référence particulière qu'ils comportent ou non des éclateurs.

D.6.1 Parafoudres avec éclateurs

Les contraintes exercées par la foudre sur des éclateurs peuvent être classées en deux grandes catégories:

- l'érosion des électrodes des éclateurs par échauffement, fusion ou vaporisation du matériau;
- les contraintes mécaniques dues à l'onde de choc de décharge.

Il est très difficile de séparer ces effets car ils sont tous deux liés aux principaux paramètres du courant de foudre par des fonctions complexes.

Pour les éclateurs, les essais en laboratoire doivent être effectués de manière que les paramètres mis en jeu soient aussi proches que ceux du courant de foudre à l'instant critique, par exemple les paramètres du courant de foudre sont obtenus à partir d'une seule contrainte électrique.

Cinq paramètres doivent être pris en compte dans ce cas: la valeur crête, la charge du courant de choc, sa durée, son énergie spécifique et son taux de montée.

La valeur crête du courant détermine la sévérité de l'onde de choc. Les valeurs numériques à considérer sont celles du premier coup. Des données conservatoires sont obtenues à partir des coups positifs.

La charge détermine l'entrée d'énergie dans l'arc. Cette énergie chauffe, fusionne et enfin vaporise en partie le matériau de l'électrode au point de contact de l'arc. Les valeurs numériques à prendre en compte sont celles relatives à l'éclair complet. Toutefois, la charge du courant de longue durée peut être négligée dans de nombreux cas selon le schéma des liaisons à la terre (TT, TN ou IT).

La durée du courant de choc présente un rôle important dans le phénomène de transfert de chaleur dans le matériau de l'électrode et la propagation consécutive du front de fusion.

L'énergie spécifique du courant de choc détermine la contrainte entraînant la compression auto-magnétique de l'arc et la physique des jets de plasma de l'électrode générés à l'interface de la surface de l'électrode et de l'arc, pouvant vaporiser une partie significative du matériau fondu. Les valeurs numériques à considérer sont celles relatives au premier coup. Des données conservatoires sont obtenues à partir des coups positifs.

NOTE Pour les éclateurs utilisés sur les réseaux de puissance, la fréquence éventuelle du courant de suite constitue une contrainte importante qu'il faut prendre en compte.

D.6.2 Parafoudres avec des varistances à oxyde métallique

Les contraintes exercées sur de tels parafoudres par la foudre peuvent être divisées en deux catégories principales: les surcharges et les claquages. Chaque catégorie est définie par son mode de défaillance due à divers phénomènes définis par différents paramètres. La défaillance d'une varistance à oxyde métallique est liée à sa caractéristique la plus faible et ainsi, il est improbable qu'une synergie entre plusieurs contraintes fatales puisse se produire. C'est pourquoi il est admis d'effectuer des essais séparés pour vérifier la tenue pour tout mode de défaillance.

D.6 Surge protective device (SPD)

The effects of the stress on an SPD caused by lightning depend on the type of SPD considered, with particular reference to the presence or absence of a gap.

D.6.1 SPD containing spark gaps

Effects on spark gaps caused by lightning can be divided into two major categories:

- the erosion of the gap electrodes by heating, melting and vaporizing of material;
- the mechanical stress caused by the shock wave of the discharge.

It is extremely difficult to investigate separately these effects, as both are linked with the main lightning current parameters by means of complex relationships.

For spark gaps, laboratory tests shall be conducted in such a way as to represent as closely as possible the appropriate parameters of the lightning current in the most critical situation: i.e. all the appropriate parameters of the lightning current shall be applied by means of a single electrical stress.

Five parameters shall be considered in this case: the peak value, the charge, the duration, the specific energy and the rate of rise of the impulse current.

The current peak value governs the severity of the shockwave. Numerical values to be considered are those relevant to the first stroke. Conservative data are obtained by considering positive strokes.

The charge governs the energy input in the arc. The energy in the arc will heat up, melt and possibly vaporize part of the electrode material at the attachment point of the arc. Numerical values to be considered are those relevant to the whole lightning flash. However, the charge of the long duration current can be neglected in many cases, depending on the configuration of the power supply system (TN, TT or IT).

The duration of the impulse current governs the heat transfer phenomena into the mass of the electrode and the resulting propagation of the melt front.

The specific energy of the current impulse governs the self-magnetic compression of the arc and the physics of the electrode plasma jets developed at the interface between the electrode surface and the arc (which can blow out a significant amount of molten material). Numerical values to be considered are those relevant to the first stroke. Conservative data are obtained by considering positive strokes.

NOTE For spark gaps used on power supply systems, the possible power frequency follow current amplitude constitutes an important stress factor, which must be taken into consideration.

D.6.2 SPD containing metal-oxide varistors

Stress to metal-oxide varistors caused by lightning can be divided into two main categories: overload and flashover. Each category is characterized by failure modes generated by different phenomena and governed by different parameters. The failure of a metal-oxide SPD is linked with its weakest characteristics and therefore it is unlikely that synergism between different fatal stresses can occur. It appears, therefore, to be acceptable to carry out separate tests to check the behaviour under each failure mode condition.

Les surcharges sont dues à la quantité d'énergie absorbée dépassant les capacités du dispositif. Cette énergie en excès peut être liée à la contrainte de foudre elle-même. Toutefois il est considéré que pour les parafoudres connectés sur les réseaux d'alimentation, le courant de suite injecté dans le dispositif par la source de puissance immédiatement après l'arrêt de l'écoulement du courant de foudre peut jouer un rôle important dans la destruction des parafoudres. Enfin, un parafoudre peut être définitivement endommagé par une tension appliquée liée à un coefficient de température négatif des caractéristiques volt/ampère des résistances. Pour la simulation du phénomène de foudre, un des principaux paramètres à prendre en compte est la charge.

La charge détermine l'énergie à l'entrée de la varistance, en admettant comme constante la tension résiduelle de cette varistance. Les valeurs numériques à prendre en compte sont celles relatives au coup de foudre.

Le claquage et les craquelures sont dus à l'amplitude des courants de choc dépassant les capacités des résistances. Le mode de défaillance est généralement mis en évidence par un claquage le long du collier, pénétrant parfois dans le bloc entraînant une craquelure ou un trou perpendiculaire au collier. La défaillance est principalement liée à un défaut diélectrique du collier du bloc de résistances.

Deux paramètres principaux doivent être considérés pour la simulation du phénomène de foudre: la valeur maximale et la durée du courant de choc.

La valeur maximale du courant de choc définit, par le niveau de tension résiduelle correspondant, que la tenue diélectrique maximale du collier est dépassée. Les valeurs numériques à considérer sont celles relatives au premier coup. Des valeurs conservatoires sont obtenues à partir des coups positifs.

La durée des courants de choc détermine la durée de l'application de la contrainte diélectrique sur le collier de la résistance.

D.7 Synthèse des paramètres d'essais à retenir lors des essais des composants des SPF

Le Tableau D.1 synthétise les aspects les plus critiques de chaque composant des SPF lors de son fonctionnement et les paramètres du courant de foudre à reproduire en laboratoire.

Les valeurs numériques du Tableau D.1 sont relatives aux paramètres de foudre importants au point d'impact.

Les valeurs d'essais sont calculées en considérant le partage du courant pouvant s'exprimer en fonction du facteur de partage du courant pour la configuration considérée, comme expliqué à l'Article D.3.

Les valeurs numériques des paramètres à utiliser lors des essais peuvent donc être calculées selon les données du Tableau D.1, en appliquant les facteurs de réduction liés au partage du courant, comme exprimé à l'Article D.3.

Overloads are caused by an amount of absorbed energy exceeding the capabilities of the device. The excessive energy considered here is related to the lightning stress itself. However, for SPDs installed on power supply systems, the follow current injected in the device by the power system immediately after the cessation of the lightning current flow can also play an important role in the fatal damage of the SPD. Finally, an SPD can be fatally damaged by thermal instability under the applied voltage related to the negative temperature coefficient of the volt-ampere characteristics of the resistors. For the overload simulation of metal-oxide varistors, one main parameter is to be considered: the charge.

The charge governs the energy input into the metal-oxide resistors block, considering as a constant the residual voltage of the metal-oxide resistor block. Numerical values to be considered are those relevant to the lightning flash.

Flashovers and cracking are caused by the amplitude of current impulses exceeding the capabilities of the resistors. This failure mode is generally evidenced by an external flashover along the collar, sometimes penetrating into the resistor block causing a crack or a hole perpendicular to the collar. The failure is mainly linked with a dielectric collapse of the collar of the resistor block.

For the simulation of this lightning phenomenon, two main parameters are to be considered: the maximum value and the duration of the impulse current.

The maximum value of the impulse current determines, through the corresponding level of residual voltage, whether the maximum dielectric strength on the resistor collar is exceeded. Numerical values to be considered are those relevant to the first stroke. Conservative data are obtained by considering positive strokes.

The duration of the impulse current governs the duration of application of the dielectric stress on the resistor collar.

D.7 Summary of the test parameters to be adopted in testing LPS components

Table D.1 summarizes the most critical aspects of each LPS component during the performance of its function and gives the parameters of the lightning current to be reproduced in laboratory tests.

The numerical values given in Table D.1 are relevant to the lightning parameters of importance at the point of strike.

Test values are to be calculated considering the current sharing which can be expressed by means of the current sharing factor, as discussed in Clause D.3.

The numerical values of the parameters to be used during the tests can therefore be calculated on the base of the data given in Table D.1, applying the reduction factors linked with current sharing, as expressed by the formulae reported in Clause D.3.

Annexe E (informative)

Chocs dus à la foudre en divers points de l'installation

Vue d'ensemble

Pour le dimensionnement des conducteurs, des parafoudres et des matériels, il convient que la menace due aux chocs aux points d'installation de ces composants soit déterminée. Les chocs peuvent être dus à des courants partiels de foudre ou à des effets d'induction dans des boucles de l'installation. Il faut que la menace due à ces chocs soit inférieure à la tenue aux chocs des composants utilisés définie par des essais appropriés.

E.1 Chocs dus à des impacts sur la structure (source de dommage S1)

E.1.1 Ecoulement dans les éléments conducteurs extérieurs et les lignes connectées à la structure

Lorsque le courant de foudre s'écoule à la terre, il se divise entre les diverses prises de terre, les éléments conducteurs et les réseaux pénétrant dans la structure directement ou par des parafoudres.

$$\text{Si} \quad I_f = k_e I \quad (\text{E.1})$$

est la partie du courant de foudre s'écoulant dans un élément conducteur ou ligne extérieure, dans ce cas k_e est fonction:

- du nombre de chemins parallèles;
- de leur résistance conventionnelle de terre pour les parties enterrées, ainsi que pour les parties aériennes ou mixtes mises à la terre;
- de la résistance conventionnelle de terre des prises de terre.

- pour les installations enterrées
$$k_e = \frac{Z}{Z_1 + Z(n_1 + n_2 \frac{Z_1}{Z_2})} \quad (\text{E.2})$$

- pour les installations aériennes
$$k_e = \frac{Z}{Z_2 + Z(n_2 + n_1 \frac{Z_2}{Z_1})} \quad (\text{E.3})$$

où

Z est la résistance conventionnelle de terre du réseau des prises de terre;

Z_1 est la résistance conventionnelle de terre des éléments conducteurs externes ou des lignes souterraines (Tableau E.1);

Z_2 est la résistance conventionnelle de terre des éléments conducteurs aériens. Si la résistance de mise à la terre d'un point est inconnue, la valeur de Z_1 (voir Tableau E.1) peut être utilisée en l'associant à la résistivité du sol au point considéré.

NOTE Cette valeur prise dans les formules ci-dessus est la même pour chaque mise à la terre. Si cela n'est pas le cas, des équations plus complexes peuvent être utilisées.

n_1 est le nombre total des éléments conducteurs extérieurs ou lignes extérieures enterrées;

n_2 est le nombre total des éléments conducteurs extérieurs ou lignes extérieures aériennes;

I est le courant de foudre correspondant au niveau de protection choisi.

Annex E (informative)

Surges due to lightning at different installation points

Overview

For dimensioning of conductors, SPDs and apparatus, the threat due to surges at the particular installation point of these components should be determined. Surges can arise from (partial) lightning currents and from induction effects into installation loops. The threat due to these surges must be lower than the withstand levels of the components used (defined by adequate tests as necessary).

E.1 Surges due to flashes to the structure (source of damage S1)

E.1.1 Surges flowing through external conductive parts and lines connected to the structure

When conducted to earth, the lightning current is divided between the earth termination system, the external conductive parts and the lines, directly or via SPDs connected to them.

If $I_f = k_e I$ (E.1)

is the part of the lightning current relevant to each external conductive part or line, then k_e depends on:

- the number of parallel paths;
- their conventional earthing impedance for underground parts, or their earth resistance, where overhead parts connect to underground, for overhead parts,
- the conventional earthing impedance of the earth-termination system.

- for underground installation
$$k_e = \frac{Z}{Z_1 + Z(n_1 + n_2 \frac{Z_1}{Z_2})}$$
 (E.2)

- for overhead installation
$$k_e = \frac{Z}{Z_2 + Z(n_2 + n_1 \frac{Z_2}{Z_1})}$$
 (E.3)

where

Z is the conventional earthing impedance of the earth-termination system;

Z_1 is the conventional earthing impedance of the external parts or lines (Table E.1) running underground;

Z_2 is the earth resistance of the earthing arrangement connecting the overhead line to ground. If the earth resistance of the earthing point is not known, the value of Z_1 shown in Table E.1 may be used (where the resistivity is relevant to the earthing point).

NOTE This value is assumed in the above formula to be the same for each earthing point. If this is not the case, more complex equations need to be used.

n_1 is the overall number of external parts or lines running underground;

n_2 is the overall number of external parts or lines running overhead;

I is the lightning current relevant to the LPS class considered.

En supposant en première approximation que la moitié du courant de foudre s'écoule à la terre et que $Z_2 = Z_1$, la valeur de k_e peut être évaluée pour un élément conducteur extérieur par:

$$k_e = 0,5 / (n_1 + n_2) \tag{E.4}$$

Si les lignes souterraines (par exemple, les réseaux de puissance et de communication) ne sont ni écrantés, ni disposés dans des conduits métalliques, chaque conducteur n' écoule une partie du courant de foudre égale à

$$k'_e = k_e / n' \tag{E.5}$$

n' étant le nombre total de conducteurs.

Pour des réseaux écrantés reliés à la pénétration, les valeurs du courant k'_e pour chaque conducteur n' d'un service écranté sont données par:

$$k'_e = k_e \cdot R_s / (n' \cdot R_s + R_c) \tag{E.6}$$

où

R_s est la résistance ohmique par unité de longueur de l'écran;

R_c est la résistance ohmique par unité de longueur d'un conducteur interne.

NOTE 3 Cette formule peut sous-estimer le rôle de l'écran dans l'écoulement des courants de foudre en raison de l'inductance mutuelle entre l'âme et l'écran.

Tableau E.1 – Valeurs conventionnelles de résistance de terre Z et Z_1 suivant la résistivité du sol

ρ Ωm	Z_1 Ω	Résistance conventionnelle de terre selon les niveaux de protection du SPF		
		Z Ω	I	II
≤100	8	4	4	4
200	11	6	6	6
500	16	10	10	10
1 000	22	10	15	20
2 000	28	10	15	40
3 000	35	10	15	60

NOTE Les valeurs données dans ce tableau se réfèrent à l'impédance conventionnelle de terre d'un conducteur enterré dans des conditions de choc (10/350 μs).

Assuming as first approximation that one half of the lightning current flows in the earth termination system and that $Z_2 = Z_1$, the value of k_e may be evaluated for an external conductive part or line by:

$$k_e = 0,5 / (n_1 + n_2) \quad (\text{E.4})$$

If entering lines (e.g. electrical and telecommunication lines) are unshielded or not routed in metal conduit, each of the n' conductors of the line carries an equal part of the lightning current

$$k'_e = k_e / n' \quad (\text{E.5})$$

n' being the total number of conductors.

For shielded lines bonded at the entrance, the values of current k'_e for each of the n' conductors of a shielded service are given by:

$$k'_e = k_e \cdot R_s / (n' \cdot R_s + R_c) \quad (\text{E.6})$$

with

R_s ohmic resistance per unit length of shield;

R_c ohmic resistance per unit length of inner conductor.

NOTE 3 This formula may underestimate the role of the shield in diverting lightning current due to mutual inductance between core and shield.

Table E.1 – Conventional earthing impedance values Z and Z_1 according to the resistivity of the soil

ρ Ωm	Z_1 Ω	Conventional earthing impedance related to the class of LPS		
		Z Ω		
		I	II	III – IV
≤100	8	4	4	4
200	11	6	6	6
500	16	10	10	10
1 000	22	10	15	20
2 000	28	10	15	40
3 000	35	10	15	60

NOTE Values reported in this table refer to the conventional earthing impedance of a buried conductor under impulse condition (10/350 μs).

E.1.2 Facteurs influençant le partage du courant de foudre dans le réseau de puissance

Pour des calculs détaillés, plusieurs facteurs peuvent influencer l'amplitude et la forme d'onde de tels chocs:

- la longueur du câble peut influencer le partage du courant et les caractéristiques de la forme de l'onde en raison du rapport L/R;
- les diverses impédances des conducteurs de neutre et des phases peuvent influencer le partage du courant parmi les lignes des conducteurs;

NOTE Par exemple, si le conducteur de neutre (N) est mis à la terre en de multiples points, l'impédance plus faible de N par rapport à celle de L₁, L₂ et L₃ peut conduire à un passage de 50 % du courant dans le conducteur neutre N, les autres 50 % se partageant entre les trois conducteurs de phase (17 % dans chacun). Si N, L₁, L₂ et L₃ ont la même impédance, chaque conducteur transporte environ 25 % du courant.

- les impédances du transformateur peuvent influencer le partage du courant (cet effet est négligeable si le transformateur est protégé par un parafoudre shuntant cette impédance);
- la relation entre les résistances conventionnelles du transformateur et celle de l'utilisateur peut influencer le partage du courant (plus l'impédance du transformateur est faible, plus le courant de choc dans l'installation à basse tension est élevé);
- les utilisateurs en parallèle entraînent une réduction de l'impédance basse tension pouvant ainsi augmenter le courant partiel de foudre s'écoulant dans le réseau.

E.2 Chocs dus à des impacts sur les services connectés à la structure

E.2.1 Chocs dus à des impacts sur les services (source de dommage S3)

Pour les impacts de foudre directs sur les services connectés à la structure, il faut prendre en compte la répartition du courant de foudre dans les deux directions du service et la rupture de l'isolation.

Le choix de la valeur I_{imp} peut se fonder sur les valeurs données dans le Tableau E.2 si les valeurs préférentielles de I_{imp} sont associées à un niveau de protection contre la foudre (NPF).

Tableau E.2 – Surintensités de foudre susceptibles d'apparaître lors des impacts de foudre

	Réseaux de puissance BT			Réseaux de communication		
	Impacts directs sur le service	Impacts près du service	Près ou sur la structure	Impacts directs sur le service	Impacts près du service	Près ou sur la structure
NPF	Source de dommage S3 (impact direct) Forme d'onde: 10/350 µs (kA)	Source de dommage S4 (impact indirect) Forme d'onde: 8/20 µs (kA)	Source de dommage S1 ou S2 (courant induit seulement pour S1) Forme d'onde: 8/20 µs (kA)	Source de dommage S3 (impact direct) Forme d'onde: 10/350 µs (kA)	Source de dommage S4 (impact indirect) mesuré: 5/300 µs (estimé: 8/20 µs) (kA)	Source de dommage S2 (courant induit) Forme d'onde: 8/20 µs (kA)
III-IV	5	2,5	0,1	1	0,01 (0,05)	0,05
I-II	10	5	0,2	2	0,02 (0,1)	0,1

E.1.2 Factors influencing the sharing of the lightning current in power lines

For detailed calculations several factors can influence the amplitude and the waveshape of such surges:

- the cable length can influence current sharing and waveshape characteristics due to the L/R ratio;
- different impedances of neutral and phase conductors can influence current sharing among line conductors;

NOTE For example, if the neutral (N) conductor has multiple earths, the lower impedance of N compared with L_1 , L_2 , and L_3 could result in 50 % of the current flowing through the N conductor with the remaining 50 % being shared by the other 3 lines (17 % each). If N, L_1 , L_2 , and L_3 have the same impedance, each conductor will carry approximately 25 % of the current.

- different transformer impedances can influence current sharing (this effect is negligible, if the transformer is protected by SPDs bypassing its impedance);
- the relation between the conventional earthing resistances of the transformer and the items on the load side can influence current sharing (the lower the transformer impedance, the higher is the surge current flowing into the low voltage system);
- parallel consumers cause a reduction of the effective impedance of the low voltage system which may increase the partial lightning current flowing into this system.

E.2 Surges relevant to services connected to the structure

E.2.1 Surges due to flashes to services (source of damage S3)

For direct lightning flashes to connected services, partitioning of the lightning current in both directions of the service and the breakdown of insulation must be taken into account.

The selection of the I_{imp} value can be based on values given in Table E.2 where the preferred values of I_{imp} are associated with the lightning protection level (LPL).

Table E.2 – Expected surge overcurrents due to lightning flashes

	Low voltage systems			Telecommunication lines		
	Flash to the service	Flash near the service	Near to, or on the structure	Flash to the service	Flash near the service	Near to, or on the structure
LPL	Source of damage S3 (direct flash) Waveform: 10/350 μ s (kA)	Source of damage S4 (indirect flash) Waveform: 8/20 μ s (kA)	Source of damage S1 or S2 (induced current only for S1) Waveform: 8/20 μ s (kA)	Source of damage S3 (direct flash) waveform: 10/350 μ s (kA)	Source of damage S4 (indirect flash) measured: 5/300 μ s (estimated: 8/200 μ s) (kA)	Source of damage S2 (induced current) Waveform: 8/20 μ s (kA)
III-IV	5	2,5	0,1	1	0,01 (0,05)	0,05
I-II	10	5	0,2	2	0,02 (0,1)	0,1

Pour les réseaux écrantés, les valeurs des surintensités données dans le Tableau E.2 peuvent être réduites d'un facteur 0,5.

NOTE Il est supposé que la résistance de l'écran est à peu près égale à celle des conducteurs en parallèle du service.

E.2.2 Chocs dus à des impacts à proximité des services (Source de dommage S4)

Les chocs dus à des impacts à proximité d'un service présentent une énergie beaucoup plus faible que celle due à un impact direct (source de dommage S3).

Les surintensités prévues associées aux niveaux de protection spécifiés (NPF) sont données dans le Tableau E.2.

Pour les réseaux écrantés, les valeurs des surintensités données dans le Tableau E.2 peuvent être réduites d'un facteur 0,5.

E.3 Chocs dus à des effets d'induction (Source de dommage S1 ou S2)

Les chocs dus à des effets d'induction de champs magnétiques générés par des impacts proches (source S2) ou par l'écoulement de courant dans le SPF externe ou encore dans l'écran spacial de ZPF 1 (source S1) présentent une forme d'onde typique 8/20 μ s. De tels chocs doivent être considérés à proximité ou sur les bornes des matériels à l'intérieur de ZPF 1 et à la frontière de ZPF 1/2.

E.3.1 Chocs dans une ZPF 1 sans écran

A l'intérieur d'une ZPF 1 sans écran (par exemple protégée par un SPF extérieur conformément à la CEI 62305-3 avec des mailles de taille supérieure à 5 m), des chocs relativement élevés peuvent se produire en raison des effets d'induction d'un champ magnétique non amorti.

Les surintensités prévues associées aux niveaux de protection spécifiques (NPF) sont données dans le Tableau E.2.

E.3.2 Chocs dans des ZPF avec écran

A l'intérieur de ZPF présentant un écran spacial efficace (nécessitant des mailles de taille inférieure à 5 m conformément à la CEI 62305-4, Annexe A), l'apparition de chocs dus à des champs magnétiques est fortement réduite. Dans de tels cas, les chocs sont très inférieurs à ceux indiqués en E.3.1.

Dans une ZPF 1, les effets inductifs sont faibles en raison de l'effet d'amortissement de l'écran.

Dans une ZPF 2, les chocs sont considérablement réduits en raison des effets en cascade des écrans spaciaux de ZPF1 et de ZPF2.

E.4 Informations générales sur les parafoudres

L'utilisation de parafoudres dépend de leur tenue aux chocs, ils sont classifiés dans la CEI 61643-1^[6] pour les réseaux de puissance et dans la CEI 61643-2^{1]} pour les réseaux de communication.

For shielded lines, the values of the overcurrents given in Table E.2 can be reduced by a factor of 0,5.

NOTE It is assumed that the resistance of the shield is approximately equal to the resistance of all service conductors in parallel.

E.2.2 Surges due to flashes near the services (Source of damage S4)

Surges from flashes near services have energies much lower than those associated with flashes to services (source of damage S3).

Expected overcurrents, associated with a specific lightning protection level (LPL) are given in Table E.2.

For shielded lines the values of overcurrents given in Table E.2 can be reduced by a factor 0,5.

E.3 Surges due to induction effects (Source of damage S1 or S2)

Surges due to induction effects from magnetic fields, generated either from nearby lightning flashes (source S2) or from lightning current flowing in the external LPS or the spatial shield of LPZ 1 (source S1) have a typical current waveform of 8/20 μ s. Such surges are to be considered close to or at the terminal of apparatus inside of LPZ 1 and at the boundary of LPZ 1/2.

E.3.1 Surges inside an unshielded LPZ 1

Inside an unshielded LPZ 1 (e.g. protected only by an external LPS according to IEC 62305-3 with mesh width greater than 5 m) relatively high surges are to be expected due to the induction effects from the non damped magnetic field.

Expected overcurrents, associated with a specific lightning protection level (LPL) are given in Table E.2.

E.3.2 Surges inside shielded LPZs

Inside of LPZs with effective spatial shielding (requiring mesh width below 5m according to Annex A of IEC 62305-4), the generation of surges due to induction effects from magnetic fields is strongly reduced. In such cases the surges are much lower than those given in E.3.1.

Inside LPZ 1 the induction effects are lower due to the damping effect of its spatial shield.

Inside LPZ 2 the surges are further reduced due to the cascaded effect of both spatial shields of LPZ 1 and LPZ 2.

E.4 General information relating to SPDs

The use of SPDs depends on their withstand capability, classified in IEC 61643-1 [6] for power and in IEC 61643-21 for telecommunication systems.

Le choix des parafoudres à utiliser selon leur installation est le suivant:

- a) A la pénétration du réseau dans la structure (frontière de ZPF 1, par exemple sur le tableau principal de distribution);
 - des parafoudres testés avec I_{imp} (forme d'onde typique 10/350, par exemple parafoudre testé conformément à la Classe I);
 - des parafoudres testés avec I_n (forme d'onde typique 8/20, par exemple parafoudre testé conformément à la Classe II).
- b) A proximité des matériels à protéger (frontière de ZPF 2 et ZPF supérieure, par exemple sur un tableau secondaire XX ou sur des prises de courant XX):
 - des parafoudres testés avec I_n (forme d'onde typique 8/20, par exemple parafoudre testé conformément à la Classe II);
 - des parafoudres testés en onde combinée (courant typique de forme d'onde 8/20, par exemple, parafoudre testé conformément à la Classe III).

SPDs to be used according to their installation position are as follows:

- a) At the line entrance into the structure (at the boundary of LPZ 1, e.g. at the main distribution board MB):
 - SPD tested with I_{imp} (typical waveform 10/350, e.g. SPD tested according to Class I);
 - SPD tested with I_n (typical waveform 8/20, e.g. SPD tested according to Class II).
- b) Close to the apparatus to be protected (at the boundary of LPZ 2 and higher, e.g. at secondary distribution board SB, or at a socket outlet SA):
 - SPD tested with I_n (typical waveform 8/20, e.g. SPD tested according to Class II);
 - SPD tested with a combination wave (typical current waveform 8/20, e.g. SPD tested according to Class III).

Bibliographie

- [1] CEI 60664-1:1992, *Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension – Partie 1: Principes, prescriptions et essais*
 - [2] CEI 61000-4-5: 1995, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-5: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux ondes de chocs*
 - [3] Berger K., Anderson R.B., Kröninger H., *Parameters of lightning flashes. CIGRE Electra No 41 (1975), p. 23 – 37*
 - [4] Anderson R.B., Eriksson A.J., *Lightning parameters for engineering application. CIGRE Electra No 69(1980), p. 65 - 102*
 - [5] IEEE working group report, *Estimating lightning performance of transmission lines II, 1992*
 - [6] CEI 61643-1:1998, *Parafoudres basse tension – Partie 1: Parafoudres connectés aux réseaux de distribution basse tension – Exigences et essais et méthodes d'essai*
 - [7] CEI 61643-12:2002, *Parafoudres basse tension – Partie 12: Parafoudres connectés aux réseaux de distribution basse tension – Principes de choix et d'application*
-

Bibliography

- [1] IEC 60664-1:1992, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests*
- [2] IEC 61000-4-5:1995, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-5: Testing and measurement techniques – Surge immunity test*
- [3] Berger K., Anderson R.B., Kröninger H., *Parameters of lightning flashes*. CIGRE Electra No 41 (1975), p. 23 – 37
- [4] Anderson R.B., Eriksson A.J., *Lightning parameters for engineering application*. CIGRE Electra No 69(1980), p. 65 - 102
- [5] IEEE working group report, *Estimating lightning performance of transmission lines II*, 1992
- [6] IEC 61643-1:2005, *Low-voltage surge protective devices – Part 1: Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems – Requirements and tests*
- [7] IEC 61643-12:2002: *Low-voltage surge protective devices – Part 12: Surge protective devices connected to low voltage power distribution systems – Selection and application principles*



Standards Survey

The IEC would like to offer you the best quality standards possible. To make sure that we continue to meet your needs, your feedback is essential. Would you please take a minute to answer the questions overleaf and fax them to us at +41 22 919 03 00 or mail them to the address below. Thank you!

Customer Service Centre (CSC)

International Electrotechnical Commission

3, rue de Varembé
1211 Genève 20
Switzerland

or

Fax to: **IEC/CSC** at +41 22 919 03 00

Thank you for your contribution to the standards-making process.

A Prioritaire

Nicht frankieren
Ne pas affranchir



Non affrancare
No stamp required

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Customer Service Centre (CSC)
International Electrotechnical Commission
3, rue de Varembé
1211 GENEVA 20
Switzerland



Q1 Please report on **ONE STANDARD** and **ONE STANDARD ONLY**. Enter the exact number of the standard: (e.g. 60601-1-1)

.....

Q2 Please tell us in what capacity(ies) you bought the standard (tick all that apply). I am the/a:

- purchasing agent
- librarian
- researcher
- design engineer
- safety engineer
- testing engineer
- marketing specialist
- other.....

Q3 I work for/in/as a: (tick all that apply)

- manufacturing
- consultant
- government
- test/certification facility
- public utility
- education
- military
- other.....

Q4 This standard will be used for: (tick all that apply)

- general reference
- product research
- product design/development
- specifications
- tenders
- quality assessment
- certification
- technical documentation
- thesis
- manufacturing
- other.....

Q5 This standard meets my needs: (tick one)

- not at all
- nearly
- fairly well
- exactly

Q6 If you ticked NOT AT ALL in Question 5 the reason is: (tick all that apply)

- standard is out of date
- standard is incomplete
- standard is too academic
- standard is too superficial
- title is misleading
- I made the wrong choice
- other

Q7 Please assess the standard in the following categories, using the numbers:

- (1) unacceptable,
- (2) below average,
- (3) average,
- (4) above average,
- (5) exceptional,
- (6) not applicable

- timeliness.....
- quality of writing.....
- technical contents.....
- logic of arrangement of contents
- tables, charts, graphs, figures.....
- other

Q8 I read/use the: (tick one)

- French text only
- English text only
- both English and French texts

Q9 Please share any comment on any aspect of the IEC that you would like us to know:

.....

.....

.....

.....

.....

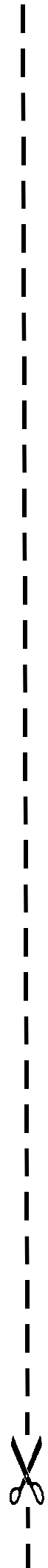
.....

.....

.....

.....

.....





Enquête sur les normes

La CEI ambitionne de vous offrir les meilleures normes possibles. Pour nous assurer que nous continuons à répondre à votre attente, nous avons besoin de quelques renseignements de votre part. Nous vous demandons simplement de consacrer un instant pour répondre au questionnaire ci-après et de nous le retourner par fax au +41 22 919 03 00 ou par courrier à l'adresse ci-dessous. Merci !

Centre du Service Clientèle (CSC)

Commission Electrotechnique Internationale

3, rue de Varembé

1211 Genève 20

Suisse

ou

Télécopie: **CEI/CSC** +41 22 919 03 00

Nous vous remercions de la contribution que vous voudrez bien apporter ainsi à la Normalisation Internationale.

A Prioritaire

Nicht frankieren
Ne pas affranchir



Non affrancare
No stamp required

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Centre du Service Clientèle (CSC)

Commission Electrotechnique Internationale

3, rue de Varembé

1211 GENÈVE 20

Suisse



Q1 Veuillez ne mentionner qu'**UNE SEULE NORME** et indiquer son numéro exact: (ex. 60601-1-1)

.....

Q2 En tant qu'acheteur de cette norme, quelle est votre fonction? (cochez tout ce qui convient)
Je suis le/un:

- agent d'un service d'achat
- bibliothécaire
- chercheur
- ingénieur concepteur
- ingénieur sécurité
- ingénieur d'essais
- spécialiste en marketing
- autre(s).....

Q3 Je travaille: (cochez tout ce qui convient)

- dans l'industrie
- comme consultant
- pour un gouvernement
- pour un organisme d'essais/ certification
- dans un service public
- dans l'enseignement
- comme militaire
- autre(s).....

Q4 Cette norme sera utilisée pour/comme (cochez tout ce qui convient)

- ouvrage de référence
- une recherche de produit
- une étude/développement de produit
- des spécifications
- des soumissions
- une évaluation de la qualité
- une certification
- une documentation technique
- une thèse
- la fabrication
- autre(s).....

Q5 Cette norme répond-elle à vos besoins: (une seule réponse)

- pas du tout
- à peu près
- assez bien
- parfaitement

Q6 Si vous avez répondu PAS DU TOUT à Q5, c'est pour la/les raison(s) suivantes: (cochez tout ce qui convient)

- la norme a besoin d'être révisée
- la norme est incomplète
- la norme est trop théorique
- la norme est trop superficielle
- le titre est équivoque
- je n'ai pas fait le bon choix
- autre(s)

Q7 Veuillez évaluer chacun des critères ci-dessous en utilisant les chiffres (1) inacceptable, (2) au-dessous de la moyenne, (3) moyen, (4) au-dessus de la moyenne, (5) exceptionnel, (6) sans objet

- publication en temps opportun
- qualité de la rédaction.....
- contenu technique
- disposition logique du contenu
- tableaux, diagrammes, graphiques, figures
- autre(s)

Q8 Je lis/utilise: (une seule réponse)

- uniquement le texte français
- uniquement le texte anglais
- les textes anglais et français

Q9 Veuillez nous faire part de vos observations éventuelles sur la CEI:

.....
.....
.....
.....
.....
.....



ISBN 2-8318-8358-X



9 782831 883588

ICS 29.020; 91.120.40

Typeset and printed by the IEC Central Office
GENEVA, SWITZERLAND

Customer: Martin Sparenberg - No. of User(s): 1 - Company: OBO Bettermann GmbH & Co.
Order No.: WS-2006-000712 - IMPORTANT: This file is copyright of IEC, Geneva, Switzerland. All rights reserved.
This file is subject to a licence agreement. Enquiries to Email: custserv@iec.ch - Tel.: +41 22 919 02 11