

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
1312-1**

Première édition
First edition
1995-02

**Protection contre l'impulsion électromagnétique
générée par la foudre –**

Partie 1:
Principes généraux

**Protection against lightning electromagnetic
impulse –**

Part 1:
General principles



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 1312-1: 1995

Validité de la présente publication

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

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles auprès du Bureau Central de la CEI.

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

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

Terminologie

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

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

Symboles graphiques et littéraux

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

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

et pour les appareils électromédicaux,

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

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

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

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

Validity of this publication

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

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available from the IEC Central Office.

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

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

Terminology

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

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

Graphical and letter symbols

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

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

and for medical electrical equipment,

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

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

IEC publications prepared by the same technical committee

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

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
1312-1**

Première édition
First edition
1995-02

**Protection contre l'impulsion électromagnétique
générée par la foudre –**

**Partie 1:
Principes généraux**

**Protection against lightning electromagnetic
impulse –**

**Part 1:
General principles**

© CEI 1995 Droits de reproduction réservés — Copyright – all rights reserved

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

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

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

X

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	6
Articles	
1 Généralités	8
1.1 Domaine d'application et objet	8
1.2 Référence normative	8
1.3 Termes et définitions	8
2 Source d'interférence	10
2.1 Le courant de décharge atmosphérique en tant que source d'interférence	10
2.2 Paramètres des courants de décharge atmosphérique	10
3 Zone de protection contre la foudre	12
3.1 Définition des zones	12
3.2 Exigences relatives à la mise à la terre	14
3.3 Exigences relatives au blindage	14
3.4 Exigences relatives aux liaisons d'équipotentialité	16
3.4.1 Liaisons d'équipotentialité au niveau des limites des zones de protection contre la foudre	16
3.4.2 Liaisons d'équipotentialité à l'intérieur du volume à protéger	20
Tableaux	26
Figures	28
Annexes	
A Informations relatives aux paramètres fixés pour les courants de décharge atmosphérique	50
B Fonction temporelle du courant de décharge atmosphérique aux fins d'analyse	56
C Simulation du courant de décharge atmosphérique aux fins d'essais	72
D Processus de couplage électromagnétique	76
E Gestion des protections	80

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	7
Clause	
1 General	9
1.1 Scope and object	9
1.2 Normative reference	9
1.3 Terms and definitions	9
2 Source of interference	11
2.1 Lightning current as source of interference	11
2.2 Lightning current parameters	11
3 Lightning protection zones	13
3.1 Zone definitions	13
3.2 Earthing requirements	15
3.3 Shielding requirements	15
3.4 Bonding requirements	17
3.4.1 Bonding at the boundaries of the lightning protection zones	17
3.4.2 Bonding equipment inside the volume to be protected	21
Tables	27
Figures	29
Annexes	
A Background of the fixed lightning current parameters	51
B Time function of the lightning current for analysis purposes	57
C Simulation of the lightning current for test purposes	73
D Electromagnetic coupling processes	77
E Protection management	81

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PROTECTION CONTRE L'IMPULSION ÉLECTROMAGNÉTIQUE GÉNÉRÉE PAR LA Foudre –

Partie 1: Principes généraux

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 1312-1 a été établie par le comité d'études 81 de la CEI: Protection contre la foudre.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

DIS	Rapport de vote
81(BC)21	81/66/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.

La CEI 1312-1 est une partie d'une série de publications présentées sous le titre général: *Protection contre l'impulsion électromagnétique générée par la foudre.*

Les annexes A, B, C, D et E sont données uniquement à titre d'information.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

PROTECTION AGAINST LIGHTNING
ELECTROMAGNETIC IMPULSE –

Part 1: General principles

FOREWORD

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

International Standard IEC 1312-1 has been prepared by IEC technical committee 81: Lightning protection.

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

DIS	Report on voting
81(CO)21	81/66/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.

IEC 1312-1 forms part of a series of publications under the general title: *Protection against lightning electromagnetic impulse*.

Annexes A, B, C, D and E are for information only.

INTRODUCTION

La présente Norme internationale a été rendue nécessaire par l'utilisation de plus en plus grande de nombreux types de systèmes électroniques, tels que les ordinateurs, les matériels de télécommunication, les systèmes de commande, etc. (désignés par systèmes informatiques dans la présente norme). Ces systèmes sont utilisés dans de nombreux secteurs du commerce et de l'industrie, y compris pour la commande de processus industriels de coût, de taille et de complexité considérables, pour lesquels les coupures de courant électrique causées par la foudre sont hautement indésirables pour des raisons de coût et de sécurité.

Pour les principes généraux relatifs à la protection des structures contre la foudre, consulter la norme CEI 1024-1. Toutefois, cette norme principale ne couvre pas la protection des systèmes électriques et électroniques. La présente norme relative à l'impulsion électromagnétique causée par la foudre (IEMF)¹ constitue en conséquence une base pour la protection des installations et vient en complément de la norme existante.

Les dispositifs à semi-conducteurs sont plus susceptibles aux surtensions causées par la foudre que les composants utilisés par le passé. En outre, des ordinateurs sont actuellement conçus pour assurer une commande extrêmement complète de processus industriels très complexes afin de simplifier la tâche des opérateurs et de permettre une utilisation optimale des processus automatiques. Les ordinateurs sont également chargés de fonctions de sécurité, comme par exemple les systèmes de sécurité des réacteurs nucléaires.

En tant que source d'interférence, la foudre est un phénomène développant une très grande énergie. Les coups de foudre libèrent des centaines de méga-joules que l'on peut opposer aux quelques milli-joules peut-être qui peuvent affecter les circuits électroniques sensibles. Une approche technique rationnelle de la protection s'impose donc. La présente norme tente d'expliquer le mécanisme de couplage par la foudre lors des transitoires et énonce des principes pour la réduction des interférences transitoires dans les systèmes informatiques tels que les systèmes électroniques.

¹ Pour la suite de cette norme on utilisera l'abréviation IEMF, pour correspondre à l'anglais LEMP.

INTRODUCTION

The need for this International Standard has arisen from the increasing use of many types of electronic systems including computers, telecommunication equipment, control systems, etc. (referred to in this standard as information systems). Such systems are used in many branches of commerce and industry, including controlling process plants of considerable capital cost, size and complexity, for which lightning induced outages are very undesirable for cost and safety reasons.

For the general principles of the protection of structures against lightning, IEC 1024-1 is available. However, this main standard does not cover protection of electric and electronic systems. This lightning electromagnetic impulse (LEMP)¹ standard, therefore, provides a basis for system protection, and supplements the existing standard.

Solid state devices are more susceptible to lightning surges than previously used components. Moreover, computers are being designed to give very comprehensive control of very complicated process plants in order to simplify the task for the human operators and to allow for automatic process optimization. Computers also undertake safety functions, for example, the safety systems on nuclear reactors.

Lightning as a source of interference is a very high energy phenomenon. Lightning strokes release many hundreds of mega-joules of energy, which may be contrasted with perhaps an order of magnitude of milli-joules, which might affect sensitive electronics. A rational engineering approach to protection is required therefore. This standard attempts to explain the lightning coupling mechanism during transients and gives principles for reducing transient interference into information systems such as electronic systems.

¹ The abbreviation LEMP will be used in this standard.

PROTECTION CONTRE L'IMPULSION ÉLECTROMAGNÉTIQUE GÉNÉRÉE PAR LA Foudre –

Partie 1: Principes généraux

1 Généralités

1.1 *Domaine d'application et objet*

La présente partie de la CEI 1312 fournit des informations relatives à la conception, la réalisation, la vérification, l'entretien et les essais d'installations efficaces de protection des systèmes informatiques situés à l'intérieur ou sur les structures.

Les cas suivants sont hors du domaine d'application de cette norme: véhicules, navires, aéronefs et installations en mer, car ces structures relèvent en général de règlements spéciaux élaborés par divers organismes spécifiques.

Le matériel composant l'installation n'est pas traité dans la présente norme. Toutefois, celle-ci donne des indications de nature à permettre la coopération entre le concepteur du système informatique et le concepteur de l'installation de protection contre l'EMF afin d'assurer l'efficacité optimale de la protection.

1.2 *Référence normative*

Le document normatif suivant contient des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 1312. Au moment de la publication, l'édition indiquée était en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 1312 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer l'édition la plus récente du document normatif indiqué ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 1024-1: 1990, *Protection des structures contre la foudre – Première partie: Principes généraux*

1.3 *Termes et définitions*

Pour les besoins de la présente partie de la CEI 1312, les définitions suivantes s'appliquent ainsi que celles qui figurent dans la CEI 1024-1:

1.3.1 réseau d'équipotentialité: Réseau de conducteurs reliant les parties conductrices accessibles d'une installation

1.3.2 système commun de mise à la terre: Tous les équipements métalliques interconnectés d'une structure, y compris l'installation extérieure de protection contre la foudre, connectés à la prise de terre.

1.3.3 point de référence de mise à la terre: Seul point de connexion entre la prise de terre commune et le réseau d'équipotentialité de l'installation.

PROTECTION AGAINST LIGHTNING ELECTROMAGNETIC IMPULSE –

Part 1: General principles

1 General

1.1 *Scope and object*

This part of IEC 1312 provides information for the design, installation, inspection, maintenance and testing of an effective lightning protection system for information systems in or on a structure.

The following cases are outside the scope of this standard: vehicles, ships, aircraft, and offshore installations are covered by regulations made by specific authorities.

The system equipment itself is not considered in this standard. However the content provides guidelines for the co-operation between the designer of the information system and the designer of the protection system against LEMP in order to achieve optimum protection effectiveness.

1.2 *Normative reference*

The following normative document contains provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 1312. At the time of publication, the edition indicated was valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this part of IEC 1312 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent edition of the normative document indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 1024-1: 1990, *Protection of structures against lightning – Part 1: General principles*

1.3 *Terms and definitions*

For the purpose of this part of IEC 1312 the following definitions apply, as well as those given in IEC 1024-1:

1.3.1 bonding network: Network of conductors bonding the exposed conductive parts of a system.

1.3.2 common earthing system: All interconnected metal installations of a structure, including external lightning protection systems (LPS), connected to the earth termination system.

1.3.3 earthing reference points (ERP): The only connecting point between the common earthing system and the bonding network of system.

- 1.3.4 **zone d'environnement:** Zone où des conditions électromagnétiques sont définies.
- 1.3.5 **liaison équipotentielle:** Liaison définie dans la CEI 1024-1 et établie au moyen de conducteurs d'équipotentialité ou de parasurtensions définies en 3.1.1 de la CEI 1024-1.
- 1.3.6 **courant de décharge atmosphérique:** Courant au point d'impact.
- 1.3.7 **impulsion électromagnétique causée par la foudre (IEMF):** Courant et champ de décharge atmosphérique en tant que source d'interférence.
- 1.3.8 **zones de protection contre la foudre:** Zones dans lesquelles l'environnement électromagnétique dû à la foudre doit être défini et réglementé.
- 1.3.9 **barre d'équipotentialité locale:** Barre d'équipotentialité située à la limite entre zones consécutives.
- 1.3.10 **coup de foudre de longue durée:** Coup de foudre dont la durée (durée entre la valeur de 10 % du front et la valeur de 10 % de la queue) du courant est supérieure à quelques dizaines de millisecondes et inférieure à une seconde (voir figure 1).
- 1.3.11 **coup de foudre de courte durée:** Coup de foudre qui met moins de 1 ms pour atteindre la mi-valeur dans la queue du courant (voir figure 1).
- 1.3.12 **dispositif de protection contre les surtensions et les surintensités (DPS):** Dispositif destiné à éliminer les surtensions et les surintensités conduites par les lignes, tels les parasurtenseurs et parafoudres définis dans la CEI 1024-1, y compris également les éclateurs, les varistances, les diodes, les filtres, etc.

2 Source d'interférence

2.1 *Le courant de décharge atmosphérique en tant que source d'interférence*

Pour les besoins de l'estimation analytique de la distribution du courant dans l'installation de protection contre la foudre et les équipements reliés, la source de courant de décharge atmosphérique doit être considérée comme un générateur de courant injectant un courant de décharge atmosphérique, composé de plusieurs coups de foudre, dans les conducteurs de l'installation de protection contre la foudre et ses équipements reliés.

Ce courant conduit, ainsi que le courant s'écoulant par le canal de foudre, cause des interférences électromagnétiques. Les processus de couplage électromagnétique sont expliqués dans l'annexe D.

2.2 *Paramètres des courants de décharge atmosphérique*

Pour les besoins de la simulation, on doit partir du principe que le courant de décharge atmosphérique se compose, conformément aux différents coups de foudre d'un éclair (figure 2):

- d'un premier coup de foudre à polarité positive ou négative;
- d'un coup de foudre subséquent à polarité négative;
- d'un coup de foudre de longue durée à polarité positive ou négative.

1.3.4 **environmental zone:** Zone where electromagnetic conditions are defined.

1.3.5 **equipotential bonding:** Connections defined in IEC 1024-1 and made by means of bonds or surge suppressors as described in 3.1.1 of IEC 1024-1.

1.3.6 **lightning current:** Current at the point of strike.

1.3.7 **lightning electromagnetic impulse (LEMP):** Current and fields of lightning magnetic impulse as a source of interference.

1.3.8 **lightning protection zone (LPZ):** Zones where lightning electromagnetic environment is to be defined and controlled.

1.3.9 **local bonding bar:** Bonding bar at the boundary of subsequent zones.

1.3.10 **long duration stroke:** Stroke with duration (time from the 10 % value in the front to the 10 % value in the tail) of the current is more than some 10 ms and less than 1 s (see figure 1).

1.3.11 **short duration stroke:** Stroke with time to the half stroke value in the tail of the current less than 1 ms (see figure 1).

1.3.12 **surge protection device (SPD):** Device to suppress line conducted overvoltages and currents, such as surge suppressors defined in IEC 1024-1, including also gaps, varistors, diodes, filters, etc.

2 Source of interference

2.1 *Lightning current as source of interference*

For the purposes of analytical estimation of current distribution in the LPS and bonded installations, the lightning current source shall be considered as a current generator injecting a lightning current, consisting of several strokes, into the conductors of the LPS and its bonded installations.

This conducted current, as well as the current in the lightning channel, causes electromagnetic interferences. The electromagnetic coupling processes are explained in annex D.

2.2 *Lightning current parameters*

For simulation purposes, it shall be assumed that the lightning current consists, according to the individual strokes in a flash (figure 2), of

- a first stroke of positive or negative polarity,
- a subsequent stroke of negative polarity;
- a long duration stroke of positive or negative polarity.

Les paramètres des courants de foudre au point d'impact sont donnés, pour différents niveaux de protection par:

- le tableau 1 pour le premier coup de foudre;
- le tableau 2 pour le coup de foudre subséquent;
- le tableau 3 pour le coup de foudre de longue durée.

Pour les définitions, voir figure 1.

Pour toute information relative aux paramètres fixés du courant de décharge atmosphérique, voir l'annexe A.

La fonction temporelle du courant de décharge atmosphérique qu'il convient d'utiliser aux fins d'analyse est indiquée dans l'annexe B.

La simulation du courant de décharge atmosphérique qu'il convient d'utiliser aux fins d'essai est décrite dans l'annexe C.

3 Zone de protection contre la foudre

Le volume à protéger doit être divisé en zones de protection contre la foudre (ZPF) afin de définir des volumes de différentes sévérités de l'EMF et de désigner des emplacements pour les points de connexions au niveau des limites des zones.

Les zones seront caractérisées par des changements importants des conditions électromagnétiques à leurs limites.

3.1 Définition des zones

ZPF 0_A: Zone où les éléments sont soumis à des coups de foudre directs et peuvent en conséquence avoir à évacuer l'intégralité du courant de décharge atmosphérique. C'est dans cette zone que l'on trouve le champ électromagnétique non affaibli.

ZPF 0_B: Zone où les éléments ne sont pas soumis à des coups de foudre directs mais où l'on trouve le champ électromagnétique non affaibli.

ZPF 1: Zone où les éléments ne sont pas soumis à des coups de foudre directs et où les courants dans tous les éléments conducteurs contenus dans cette zone sont en outre plus faibles que les courants dans la zone 0_B. Dans cette zone, le champ électromagnétique peut aussi être atténué en fonction des mesures de blindage.

Zones suivantes (zone de protection contre la foudre 2, etc.):

Si une réduction supplémentaire des courants conduits et/ou du champ électromagnétique est requise, des zones supplémentaires peuvent être créées. Les exigences applicables à ces zones doivent être sélectionnées en fonction des zones d'environnement requises dans l'installation à protéger.

En général, à un numéro de zone élevé correspondent des paramètres d'environnement électromagnétique faibles.

The lightning current parameters at the point of strike for various protection levels are given in:

- table 1 for the first stroke;
- table 2 for the subsequent stroke;
- table 3 for the long duration stroke.

For definitions, see figure 1.

For the background of the fixed lightning current parameters, see annex A.

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

The simulation of the lightning current to be used for test purposes is described in annex C.

3 Lightning protection zones

The volume to be protected shall be divided into lightning protection zones (LPZ) to define volumes of different LEMP severities, and to designate locations for bonding points on the zone boundaries.

Zones will be characterized by significant changes of the electromagnetic conditions at their boundaries.

3.1 Zone definitions

LPZ 0_A: Zone where items are subject to direct lightning strokes, and therefore may have to carry up to the full lightning current. The unattenuated electromagnetic field occurs here.

LPZ 0_B: Zone where items are not subject to direct lightning strokes, but the unattenuated electromagnetic field occurs.

LPZ 1: Zone where items are not subject to direct lightning strokes and where currents on all conductive parts within this zone are further reduced compared with zones 0_B. In this zone the electromagnetic field may also be attenuated depending on the screening measures.

Subsequent zones (LPZ 2, etc.):

If a further reduction of conducted currents and/or electromagnetic field is required, subsequent zones shall be introduced. The requirement for those zones shall be selected according to the required environmental zones of the system to be protected.

In general, the higher the number of the zones, the lower the electromagnetic environment parameters.

A la limite des différentes zones, la liaison d'équipotentialité de toutes les pénétrations métalliques doit être prévue et des mesures de protection peuvent être mises en place.

NOTE – La liaison située à la limite entre ZPF 0_A, ZPF 0_B et ZPF 1 est définie en 3.1 de la CEI 1024-1.

Les champs électromagnétiques à l'intérieur d'une structure sont influencés par les ouvertures telles que les fenêtres, par les courants dans les conducteurs métalliques (par exemple, barres d'équipotentialité, blindages de câbles et conduits) et par le cheminement des câbles.

Le principe général de la division d'un volume à protéger en différentes zones de protection contre la foudre est indiqué à la figure 3.

La figure 4 donne un exemple de division d'une structure en différentes zones. Toutes les lignes électriques et de communications pénètrent dans le volume protégé (ZPF 1) en un point et sont reliées à la barre d'équipotentialité 1 à la limite des ZPF 0_A, ZPF 0_B et ZPF 1. Les lignes sont en outre reliées à la barre d'équipotentialité 2 à la limite des ZPF 1 et ZPF 2. En outre, le blindage extérieur 1 de la structure est relié à la barre d'équipotentialité 1 et le blindage intérieur à la barre d'équipotentialité 2. Lorsque les câbles passent d'une ZPF à une autre, la liaison doit être exécutée à chaque limite. La ZPF 2 est construite de manière que les courants partiels de décharge atmosphérique ne soient pas conduits dans ce volume et ne puissent le traverser.

3.2 Exigences relatives à la mise à la terre

La mise à la terre doit être conforme à la CEI 1024-1.

S'il existe des structures voisines entre lesquelles passent des câbles électriques et de communications, les installations de mise à la terre doivent être interconnectées et il est préférable d'avoir de nombreux chemins parallèles afin de réduire les courants dans les câbles. Une installation de mise à la terre maillée répond à ce objectif.

Les effets du courant de décharge atmosphérique sont encore réduits lorsqu'on enferme, par exemple, les câbles dans des conduits métalliques ou des conduits en béton armé en forme de grille qui doivent être intégrés à l'installation de mise à la terre maillée.

La figure 5 donne un exemple type de configuration de mise à la terre maillée pour un immeuble jouxtant une tour.

3.3 Exigences relatives au blindage

L'efficacité du blindage doit être évaluée en utilisant la densité d'amplitude du courant de décharge électromagnétique, indiquée à la figure A.6, et la densité d'amplitude correspondante du champ magnétique.

Le blindage est la mesure élémentaire destinée à réduire l'interférence électromagnétique.

La figure 6 donne des mesures de principe de blindage et de cheminement destinées à la réduction des effets induits:

- mesures de blindage extérieur;
- cheminement approprié;
- blindage des lignes.

Ces mesures peuvent être combinées.

At the boundary of the individual zones, bonding of all metal penetrations shall be provided and screening measures might be installed.

NOTE – Bonding at the boundary between LPZ 0_A, LPZ 0_B and LPZ 1 is defined in 3.1 of IEC 1024-1.

The electromagnetic fields inside a structure are influenced by openings such as windows, by currents on metal conductors (e.g. bonding bars, cable shields and tubes), and by cable routing.

The general principle for the division of a volume to be protected into different lightning protection zones is shown in figure 3.

Figure 4 shows an example for dividing a structure into several zones. Here all electric power and signal lines enter the protected volume (LPZ 1) at one point, and are bonded to bonding bar 1 at the boundary of LPZ 0_A, LPZ 0_B and LPZ 1. In addition, the lines are bonded to the internal bonding bar 2 at the boundary of LPZ 1 and LPZ 2. Furthermore, the outer shield 1 of the structure is bonded to bonding bar 1 and the inner shield 2 to bonding bar 2. Where cables pass from one LPZ to another, the bonding must be executed at each boundary. LPZ 2 is constructed in such a way that partial lightning currents are not transferred into this volume and cannot pass through it.

3.2 Earthing requirements

Earthing shall comply with IEC 1024-1.

If there are adjacent structures between which power and communication cables pass, the earthing systems shall be interconnected, and it is beneficial to have many parallel paths to reduce the currents in the cables. A meshed earthing system fulfills this requirement.

The lightning current effects are further reduced, e.g., by enclosing all the cables in metal conduits or gridlike reinforced concrete ducts, which must be integrated into the meshed earthing system.

Figure 5 shows a typical example for a meshed earthing configuration for a building with a tower.

3.3 Shielding requirements

Shielding effectiveness shall be evaluated by use of the amplitude density of the lightning current, given in figure A6, and of the corresponding amplitude density of the magnetic field.

Shielding is the basic measure to reduce electromagnetic interference.

In figure 6, shielding and routing measures for reduction of induced effects are shown in principle as:

- external shielding measures;
- suitable routing;
- line screening.

These measures can be combined.

Afin d'améliorer l'environnement électromagnétique, tous les éléments métalliques de dimensions importantes associés à la structure doivent être reliés ensemble et à l'installation de protection contre la foudre, par exemple, toits et façades en couverture métallique, armature métallique du béton et encadrements métalliques des portes et fenêtres (voir figure 7 à titre d'exemple, où la dimension des mailles est de l'ordre de quelques dizaines de centimètres).

Lorsque des câbles blindés sont utilisés à l'intérieur du volume à protéger, leurs blindages doivent être reliés au moins à leurs deux extrémités ainsi qu'au niveau des limites entre les zones de protection contre la foudre.

Les câbles passant d'une structure à une autre doivent être passés dans des conduits métalliques tels que des tubes métalliques, des grilles ou des armatures du béton en forme de grille, qui doivent être conducteurs de bout en bout et reliés aux barres d'équipotentialité des structures séparées. Les blindages des câbles doivent être reliés à ces barres. Les conduits métalliques peuvent être évités si les blindages des câbles peuvent transporter les courants de foudre prévisibles.

3.4 Exigences relatives aux liaisons d'équipotentialité

L'objet de la liaison d'équipotentialité est de réduire les différences de potentiel entre éléments et installations métalliques à l'intérieur du volume à protéger contre la foudre.

La liaison d'équipotentialité doit être prévue et installée au niveau des limites entre les ZPF pour les éléments et installations métalliques qui traversent les limites ainsi que pour les éléments et installations métalliques situés à l'intérieur d'une ZPF. La liaison d'équipotentialité au niveau des barres d'équipotentialité doit être réalisée au moyen de conducteurs d'équipotentialité et de fixations, et si nécessaire par des dispositifs de protection contre les surtensions et les surintensités (voir figure 8, où le conducteur de mise à la terre est également relié).

3.4.1 Liaisons d'équipotentialité au niveau des limites des zones de protection contre la foudre

3.4.1.1 Liaisons d'équipotentialité au niveau des limites entre les zones de protection contre la foudre 0_A , 0_B et 1.

La liaison d'équipotentialité doit être réalisée pour tous les éléments conducteurs extérieurs qui entrent dans la structure.

Lorsque les éléments conducteurs extérieurs et les lignes électriques et de communications entrent dans la structure à des endroits différents et qu'en conséquence plusieurs barres d'équipotentialité sont nécessaires, celles-ci doivent être connectées aussi près que possible d'une électrode de terre en boucle ainsi que des armatures et façades métalliques (voir figure 9). Si aucune électrode de terre en boucle n'a été prévue, ces barres d'équipotentialité doivent être connectées à des électrodes de terres séparées et interconnectées par un conducteur en boucle interne (ou une boucle partielle) (voir figure 10). Dans le cas de l'entrée des éléments conducteurs extérieurs au-dessus du sol, les barres d'équipotentialité doivent être connectées à un conducteur en boucle horizontal à l'intérieur ou à l'extérieur du mur, lui-même relié aux conducteurs de descente ainsi qu'à l'armature, le cas échéant (voir figure 11).

In order to improve the electromagnetic environment, all metal parts of significant dimensions associated with the structure shall be bonded together and to the LPS, e.g. metal skin roofs and façades, metal reinforcement of the concrete and metal frames of doors and windows (see figure 7 as an example, where the mesh width is of the order of some tens of centimetres).

Where shielded cables within the volume to be protected are used, their shields shall be bonded at least at both ends, as well as at the LPZ boundaries.

Cables running between separate structures shall be laid inside metal cable ducts, such as metal tubes, grids or gridlike reinforcement in concrete, which shall be conducting from end to end and be bonded to the bonding bars of the separate structures. Cable shields shall be bonded to these bars. Metal cable ducts can be avoided if cable shields are able to carry the foreseeable lightning currents.

3.4 Bonding requirements

The purpose of bonding is to reduce potential differences between metal parts and systems inside the volume to be protected against lightning.

Bonding shall be provided and installed at the boundaries of LPZs for the metal parts and systems crossing the boundaries, as well as for metal parts and systems inside a LPZ. Bonding at bonding bars shall be performed by means of bonding conductors and clamps, and, where necessary, by surge protection devices (SPD – see figure 8, where the earth conductor is also bonded).

3.4.1 Bonding at the boundaries of the lightning protection zones

3.4.1.1 Bonding at the boundary between lightning protection zones 0_A , 0_B and 1

Bonding shall be carried out for all external conductive parts entering the structure.

When the external conductive parts and the electrical power and communication lines enter the structure at different locations, and thus several bonding bars are required, they shall be connected as closely as possible to a ring earth electrode, as well as to the reinforcement and metal façades (see figure 9). If a ring earth electrode has not been provided, these bonding bars shall be connected to individual earth electrodes and interconnected by an internal ring conductor (or a partial ring – see figure 10). For above ground entry of external conductive parts, the bonding bars shall be connected to a horizontal ring conductor inside or outside the wall, which is bonded to the down conductors as well as to the reinforcement, where used (see figure 11).

Il est recommandé que les éléments conducteurs extérieurs ainsi que les lignes électriques et de communications entrant dans la structure au niveau du sol le fassent en un même endroit (voir figure 12 à titre d'exemple). Ceci est particulièrement important lorsque les structures de l'immeuble n'assurent qu'un blindage réduit. La barre d'équipotentialité située au point d'entrée dans la structure doit être connectée aussi près que possible de l'électrode de terre ainsi que de l'armature, le cas échéant.

Le conducteur en boucle doit être connecté à l'armature ou aux autres éléments de blindage tels que les façades métalliques, tous les 5 m environ. Voir le tableau 6 de la CEI 1024-1 pour les dimensions minimales. La section minimale des barres d'équipotentialité en cuivre ou en acier galvanisé doit être de 50 mm^2 .

Les barres d'équipotentialité destinées aux structures qui contiennent des systèmes informatiques où les effets de l'IEMF doivent être minimisés, se présenteront de préférence sous la forme d'une plaque métallique connectée en plusieurs points de l'armature ou des autres éléments de blindage.

Pour les joints et DPS (Dispositifs de protection contre les surtensions) utilisés comme liaison à la frontière entre ZPF 0_A et ZPF 1, on utilisera les valeurs des paramètres des courants conformément aux tableaux 1 à 3, en tenant compte de la répartition des courants là où existent des conducteurs multiples.

Pour les fixations et dispositifs de protection contre les surtensions et les surintensités (DPS) utilisés pour réaliser la liaison d'équipotentialité à la limite des ZPF 0_B et ZPF 1, les valeurs des paramètres du courant doivent être évaluées individuellement.

Les éléments conducteurs extérieurs situés dans la ZPF 0_B sont prévus pour écouler un courant induit et une petite partie du courant de décharge atmosphérique.

Pour les éléments conducteurs extérieurs ainsi que les lignes électriques et de communications qui entrent dans la structure au niveau du sol, les courants partiels de décharge atmosphérique au point de liaison doivent être évalués. Cette évaluation peut être faite comme suit.

Lorsqu'une évaluation individuelle n'est pas possible, on peut supposer que les 50 % du courant de décharge atmosphérique total i s'écoulent par la prise de terre de l'installation de protection contre la foudre de la structure considérée et que les 50 % de i , i_s , sont répartis entre les services entrant dans la structure (éléments conducteurs extérieurs, lignes électriques et de communications, etc.). La valeur du courant s'écoulant dans chaque service, i_i , est donnée par la relation i_s/n , où n est le nombre de services précités (voir figure 13). Pour l'évaluation du courant i_v dans les conducteurs individuels de câbles non blindés, le courant du câble i_i est divisé par le nombre de conducteurs m , soit $i_v = i_i/m$.

Dans le cas des câbles blindés, le courant s'écoulera le long du blindage.

Sur une propriété privée, il peut ne pas être tenu compte de la ligne téléphonique pour le calcul de n car elle n'affecte pas le courant écoulé par les autres services. Néanmoins, la ligne téléphonique doit être reliée et pour la conception de la liaison d'équipotentialité, on doit prendre les 5 % du courant de décharge atmosphérique i comme valeur minimale.

Pour les sections des conducteurs d'équipotentialité, les tableaux 6 et 7 de la norme CEI 1024-1 sont applicables. Le tableau 6 est applicable si une proportion du courant de

It is recommended that the external conductive parts as well as the electrical power and communication lines entering the structure at ground level do so at the same location (see figure 12 as an example). This is especially important where the building structure provides little shielding. The bonding bar at the point of entry into the structure shall be connected as closely as possible to the earth electrode, as well as to the reinforcement, where used.

The ring conductor shall be connected to the reinforcement or other shielding elements, such as metal façades, typically every 5 m. For minimum dimensions see table 6 of IEC 1024-1. The minimum cross section for copper or galvanized steel bonding bars shall be 50 mm^2 .

Bonding bars for structures which contain information systems where LEMP effects should be minimized, preferably will take the form of a metal plate having multiple connections to the reinforcement or other shielding elements.

For clamps and SPDs used for bonding at the boundary of LPZ 0_A and LPZ 1, the current parameters values according to the tables 1 to 3 should be used, with consideration for current sharing where multiple conductors exist.

For clamps and SPDs used for bonding at the boundary of LPZ 0_B and LPZ 1, the current parameters values shall be evaluated individually.

External conductive parts in LPZ 0_B are expected to carry an induced current, and a small fraction of the lightning current.

For the external conductive parts, as well as the electrical power and communication lines entering the structure at ground level, the partial lightning currents at the point of bonding shall be evaluated. This may be assessed as follows.

Where an individual evaluation is not possible, it can be assumed that 50 % of the total lightning current i enters the earth termination system of the LPS of the structure considered, and 50 % of i , i_s , is distributed among the services entering the structure (external conductive parts, electrical power and communication lines, etc.) The value of the current flowing in each service, i_i , is given by i_s/n , where n is the number of the above mentioned services (see figure 13). For evaluating the current i_v in individual conductors in unscreened cables, the cable current i_i is divided by m , the number of conductors, i.e. $i_v = i_i/m$.

For shielded cables, the current will flow along the shield.

In a domestic property, the telephone line may be disregarded for the calculation of n , as it does not affect the current carried by the other services. Nevertheless, the telephone line shall be bonded, and for the design of the bonding 5 % of the lightning current i shall be assumed as minimum value.

For the cross sections of the bonding conductors, tables 6 and 7 of IEC 1024-1 apply. Table 6 applies, if a proportion of the lightning current ≥ 25 % flows through the conductive

décharge atmosphérique $\geq 25\%$ s'écoule dans l'élément conducteur; le tableau 7 est applicable si une proportion du courant de décharge atmosphérique $< 25\%$ s'écoule dans l'élément conducteur.

Les DPS doivent supporter des courants partiels de décharge atmosphérique et doivent répondre aux exigences supplémentaires relatives aux tensions maximales entre bornes pour les surtensions et à l'aptitude à éteindre le courant de suite de l'alimentation.

La surtension maximale u_{\max} à l'entrée de la structure doit être en proportion avec la tenue aux surtensions des installations concernées.

Pour obtenir une valeur de u_{\max} suffisamment basse, les lignes doivent être connectées à la barre d'équipotentialité par des longueurs de fil aussi courtes que possible (voir figure 14, où u_A et u_L , qui n'apparaissent pas nécessairement simultanément, doivent être maintenues en dessous de u_{\max}).

3.4.1.2 Liaisons d'équipotentialité au niveau des limites entre des zones de protection contre la foudre consécutives

Les principes généraux pour la liaison d'équipotentialité au niveau de la limite entre les ZPF 0_A , 0_B et 1, sont également applicables aux limites entre zones consécutives.

Tous les éléments conducteurs ainsi que les lignes électriques et de communications traversant la limite entre des ZPF doivent être reliés au niveau de la limite. La liaison d'équipotentialité doit être réalisée par l'intermédiaire d'une barre d'équipotentialité locale à laquelle les éléments de blindage ou autres armatures métalliques (par exemple coffrets d'appareils) sont également reliés.

Pour les fixations, les DPS utilisés pour réaliser la liaison d'équipotentialité, les paramètres du courant doivent être évalués individuellement. Les surtensions maximales à la limite de la ZPF doivent être coordonnés avec la tenue diélectrique des installations concernées. Les DPS au niveau des différentes limites de zones doivent aussi être coordonnés au point de vue de leur tenue en énergie.

3.4.2 Liaisons d'équipotentialité à l'intérieur du volume à protéger

3.4.2.1 Liaisons d'équipotentialité des éléments conducteurs internes

La liaison de tous les éléments conducteurs internes de dimensions importantes, tels que guides d'ascenseurs, grues, planchers métalliques, encadrement de portes métalliques, conduites métalliques, eau, gaz etc., goulottes de câbles, doit être réalisée au niveau de la barre d'équipotentialité ou autre armature métallique reliée la plus proche et par le chemin le plus court possible. Des interconnexions multiples supplémentaires des éléments conducteurs sont préférables.

Le tableau 7 de la CEI 1024-1 est applicable pour les sections des conducteurs d'équipotentialité.

Seule une faible proportion du courant de décharge atmosphérique doit s'écouler dans les éléments d'équipotentialité.

part; table 7 applies, if a proportion of the lightning current <25 % flows through the conductive part.

The SPDs have to withstand partial lightning currents and shall fulfill the additional demands of maximum clamping voltages for surges, and the ability to extinguish "follow-on" currents from the mains.

The maximum surge voltage u_{\max} at the entrance of the structure shall be co-ordinated with the withstand capability of the systems involved.

To achieve a sufficiently low value of u_{\max} , lines shall be connected to the bonding bar with minimum wire lengths (see figure 14, where u_A and u_L , which do not necessarily appear simultaneously, must be kept below u_{\max}).

3.4.1.2 *Bonding at the boundaries between subsequent lightning protection zones*

The general principles for bonding at the boundary between LPZ 0_A, 0_B and 1 are also applicable to subsequent zone boundaries.

All conductive parts, as well as electrical power and communication lines entering a boundary between LPZs, shall be bonded at the boundary. Bonding shall be done via a local bonding bar to which the shielding elements or other local metal works (e.g. equipment cases) are also bonded.

For clamps and SPDs used for bonding, the current parameters shall be evaluated individually. The maximum surge voltages at the boundary of the LPZ shall be co-ordinated with the withstand capability of the systems involved. The SPDs at different zone boundaries shall also be co-ordinated with respect to their energy capabilities.

3.4.2 *Bonding equipment inside the volume to be protected*

3.4.2.1 *Bonding of internal conductive parts*

Bonding for all internal conductive parts of significant dimensions, such as elevator rails, cranes, metal floors, metal door frames, service pipes, cable trays, shall be made to the nearest bonding bar or other bonded metal work by the shortest possible route. Additional multiple interconnection of the conductive parts is advantageous.

Table 7 of IEC 1024-1 applies for the cross-sections of the bonding conductors.

In the bonding elements, only a minor proportion of the lightning current is expected to flow.

3.4.2.2 Liaisons d'équipotentialité des systèmes informatiques

La prise de terre commune de la structure comprend l'installation extérieure de protection contre la foudre à laquelle s'ajoute la liaison des équipements métalliques (voir 3.4.2.1) afin de réaliser une prise de terre maillée et à faible inductance.

Pour les parties conductrices accessibles des systèmes informatiques, des réseaux d'équipotentialité doivent être mis en place. En principe, un réseau d'équipotentialité n'a pas à être raccordé, mais tous les réseaux d'équipotentialité abordés dans la présente norme seront raccordés à la terre.

Il existe deux principales méthodes pour relier les éléments métalliques des systèmes informatiques, tels qu'armoires, boîtiers ou tiroirs, à la terre commune de la structure comme indiqué à la figure 15.

Une des deux configurations de base des réseaux d'équipotentialité doit être utilisée (figure 15):

- la configuration en étoile, type S;
- la configuration maillée, type M.

Si le réseau d'équipotentialité de type S est utilisé, tous les éléments métalliques de l'installation doivent être isolés de manière adéquate des éléments de la prise de terre commune, à l'exception du point de liaison.

En général, le réseau d'équipotentialité de type S est utilisé pour les installations relativement petites, limitées localement, où tous les services et câbles entrent dans le système informatique en un seul point.

Le réseau d'équipotentialité de type S doit être intégré à la prise de terre commune en un seul point, appelé point de référence de mise à la terre, ce qui donne le type S_s (figure 15). Dans ce cas également, toutes les lignes et tous les câbles entre les équipements doivent être parallèles aux lignes d'équipotentialité, selon la configuration en étoile, afin d'éviter les boucles d'induction. En raison du point de liaison unique, aucun courant à basse fréquence associé à la foudre ne peut entrer dans le système informatique et en outre, les sources d'interférence à basse fréquence situées à l'intérieur du système informatique ne peuvent produire de courants de terre. Ce point unique de liaison est également le point idéal pour la connexion de DPS, en vue de limiter les surtensions conduites.

Si le réseau d'équipotentialité de type M est utilisé, les éléments métalliques de l'installation ne doivent pas être isolés des éléments de la prise de terre commune. Le réseau d'équipotentialité de type M doit être intégré à la prise de terre commune en plusieurs points, ce qui donne le type M_m .

En général, le réseau d'équipotentialité de type M est utilisé pour les installations relativement grandes et ouvertes, où de nombreuses lignes et câbles relient les matériels et où les services et les câbles entrent dans le système informatique en plusieurs points.

Dans ce cas, un réseau à basse impédance est également réalisé pour les hautes fréquences. En outre, les boucles de court circuit multiples du réseau d'équipotentialité agissent comme des boucles de réduction des champs magnétiques, réduisant ainsi le champ magnétique d'origine au voisinage du système informatique.

3.4.2.2 Bonding of information systems

The common earthing system of the structure comprises the external LPS, to which is added the bonding of metal installations (see 3.4.2.1), in order to achieve a low inductance and meshed earth system.

For the exposed conductive parts of the information systems, bonding networks shall be built up. In principle, a bonding network need not to be connected to earth, but all bonding networks considered here will have earth connection.

There are two principal ways to bond the metal components of the information systems, such as cabinets, housings or racks, to the common earth of the structure, as shown in figure 15.

One of two basic configurations of bonding networks shall be used (figure 15):

- star configuration type S;
- meshed configuration type M.

If the bonding network type S is used, all metal components of the system shall be isolated adequately from common earthing system components apart from the bonding point.

In general, the bonding network type S is used for relatively small, locally confined systems, where all services and cables enter the information system at only one point.

The bonding network type S shall be integrated into the common earthing system only by a single point, the earthing reference point, ERP, resulting in type S_s (figure 15). In this case also, all lines and cables between the items of equipment shall run in parallel, with the bonding lines following the star configuration in order to avoid induction loops. Due to single point bonding no low frequency currents associated with lightning can enter the information system, and in addition, low frequency interference sources within the information system cannot produce earth currents. This single bonding point is also the ideal point for connecting SPDs in order to limit conducted overvoltages.

If bonding network type M is used, the metal components of the system shall not be isolated from common earthing system components. The bonding network type M shall be integrated into the common earth by multiple points, and results in type M_m .

In general, the bonding network type M is used for relatively extended and open systems, where many lines and cables run between the items of equipment, and where the services and cables enter the information system at several points.

Here, a low impedance network also for high frequencies is achieved. Furthermore, the multiple short circuit loops of the bonding network will act as reduction loops for magnetic fields, thus reducing the original magnetic field in the neighbourhood of the information system.

Dans les installations complexes, les avantages des deux types (type M et S) peuvent être combinés, comme le montre la figure 16.

Un réseau d'équipotentialité local de type S peut être combiné à une configuration maillée comme dans la combinaison 1 de la figure 16.

En outre, un réseau d'équipotentialité de type M peut être connecté à la prise de terre commune au point de référence de mise à la terre (combinaison 2 de la figure 16). Dans ce cas, tous les éléments métalliques du réseau d'équipotentialité local et les matériels doivent être isolés de manière adéquate des éléments de la prise de terre commune et de tous les services et câbles qui entrent dans le système au point de référence de mise à la terre.

En général, la connexion du réseau d'équipotentialité à la prise de terre commune est réalisée au niveau de la limite de la ZPF, mais cela n'est pas obligatoire.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61312-1:1995
Without2M

In complex systems, the advantages of both types (type M and S) can be combined as illustrated in figure 16.

A local bonding network type S can be combined with a meshed configuration as in combination 1 of figure 16.

Furthermore, a local bonding network type M can be connected to common earth at an ERP (combination 2 of figure 16). Here, all metal components of the local bonding network and the items of equipment shall be isolated adequately from common earth components, and all services and cables enter the system at ERP.

Normally, the connection of the bonding network to the common earth is done at the boundary of LPZ, although this is not mandatory.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61312-1:1995
Withdrawn

Tableau 1 – Paramètres du courant de décharge atmosphérique du premier coup de foudre

Paramètres du courant (voir figure 1)	Niveau de protection		
	I	II	III – IV
Courant de crête I (kA)	200	150	100
Durée du front T_1 (μ s)	10	10	10
Durée jusqu'à la mi-valeur T_2 (μ s)	350	350	350
Charge du coup de foudre de courte durée Q_s ¹⁾ (C)	100	75	50
Energie spécifique W/R ²⁾ (MJ/ Ω)	10	5, 6	2, 5

1) Comme la majeure partie de la charge totale Q_s est contenue dans le premier coup de foudre, la charge de tous les coups de courte durée est considérée comme étant incorporée dans la valeur donnée.

2) Comme la majeure partie de l'énergie spécifique W/R est contenue dans le premier coup de foudre, l'énergie spécifique de tous les coups de courte durée est considérée comme étant incorporée dans la valeur donnée.

Tableau 2 – Paramètres du courant de décharge atmosphérique du coup de foudre subséquent

Paramètres du courant (voir figure 1)	Niveau de protection		
	I	II	III – IV
Courant de crête I (kA)	50	37,5	25
Durée du front T_1 (μ s)	0,25	0,25	0,25
Durée jusqu'à la mi-valeur T_2 (μ s)	100	100	100
Raideur moyenne I / T_1 (kA/ μ s)	200	150	100

Tableau 3 – Paramètres du courant de décharge atmosphérique du coup de foudre de longue durée

Paramètres du courant (voir figure 1)	Niveau de protection		
	I	II	III – IV
Charge Q_l (C)	200	150	100
Durée T (s)	0,5	0,5	0,5

Courant moyen: environ Q_l/T

Table 1 – Lightning current parameters of the first stroke

Current parameters (see figure 1)	Protection level		
	I	II	III – IV
Peak current I (kA)	200	150	100
Front time T_1 (μ s)	10	10	10
Time to half value T_2 (μ s)	350	350	350
Charge of the short duration stroke Q_s ¹⁾ (C)	100	75	50
Specific energy W/R ²⁾ (MJ/ Ω)	10	5, 6	2, 5

1) Since the substantial part of the total charge Q_s is contained in the first stroke, the charge of all short duration strokes is considered to be incorporated in the given values.

2) Since the substantial part of specific energy W/R is contained in the first stroke, the specific energy of all short duration strokes is considered to be incorporated in the given values.

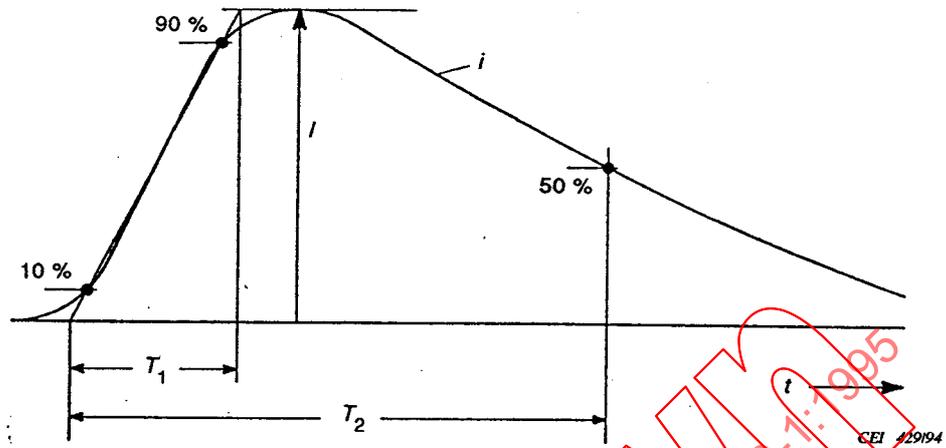
Table 2 – Lightning current parameters of the subsequent stroke

Current parameters (see figure 1)	Protection level		
	I	II	III – IV
Peak current I (kA)	50	37,5	25
Front time T_1 (μ s)	0,25	0,25	0,25
Time to half value T_2 (μ s)	100	100	100
Average steepness I/T_1 (kA/ μ s)	200	150	100

Table 3 – Lightning current parameters of the long duration stroke

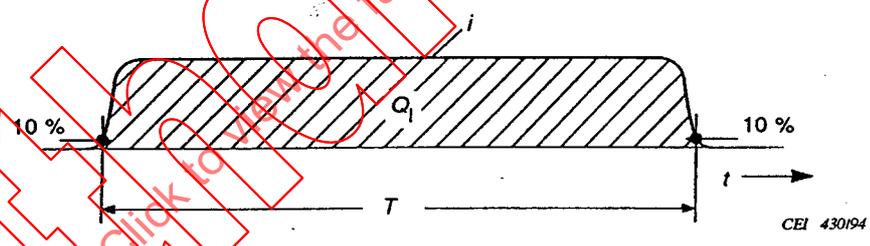
Current parameters (see figure 1)	Protection level		
	I	II	III – IV
Charge Q_l (C)	200	150	100
Duration T (s)	0,5	0,5	0,5

Average current: approximately Q_l/T



i = courant de crête
 T_1 = durée du front
 T_2 = durée jusqu'à la mi-valeur

Figure 1a – Coup de foudre de courte durée



T = durée (durée entre la valeur de 10 % du front et la valeur de 10 % de la queue)
 Q_1 = charge du coup de foudre de longue durée

Figure 1b – Coup de foudre de longue durée

Figure 1 – Définitions des paramètres des coups de foudre

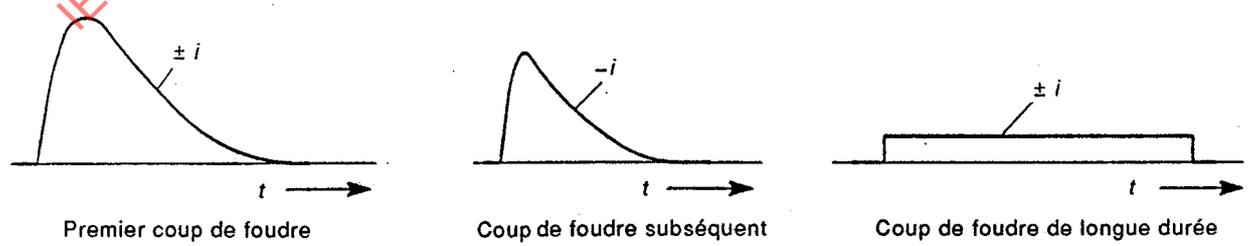
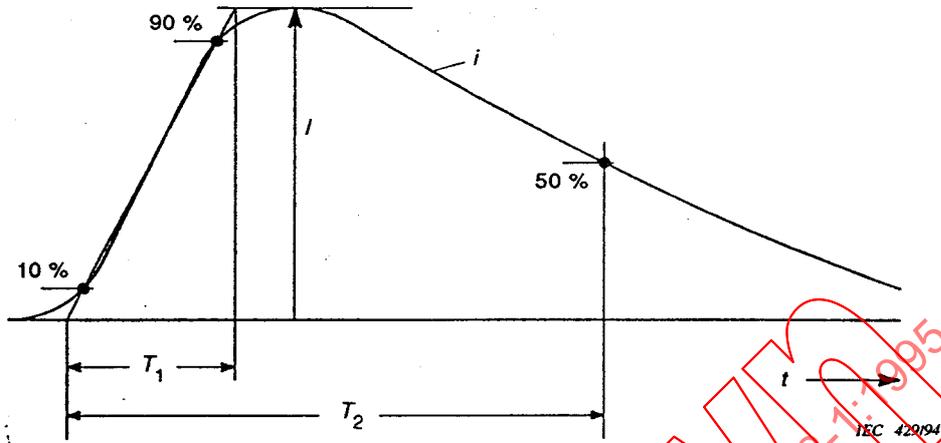
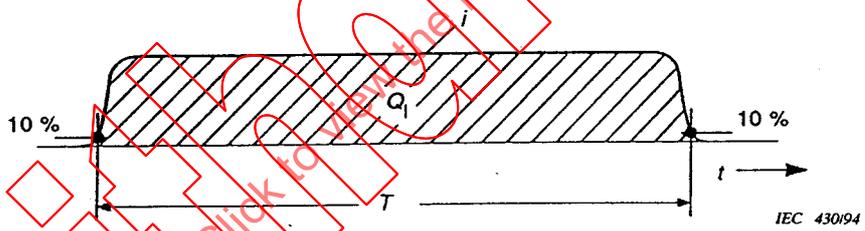


Figure 2 – Coups de foudre dans un éclair



i = peak current
 T_1 = front time
 T_2 = time to the half value

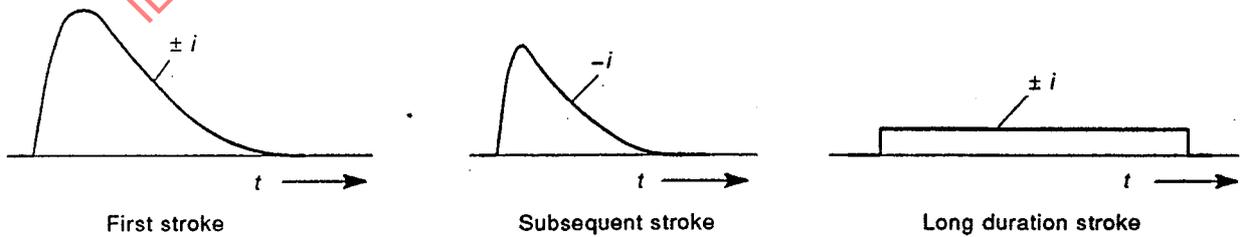
Figure 1a - Short duration stroke



T = duration (time from the 10 % value in the front to the 10 % value in the tail)
 Q_1 = charge of the long duration stroke

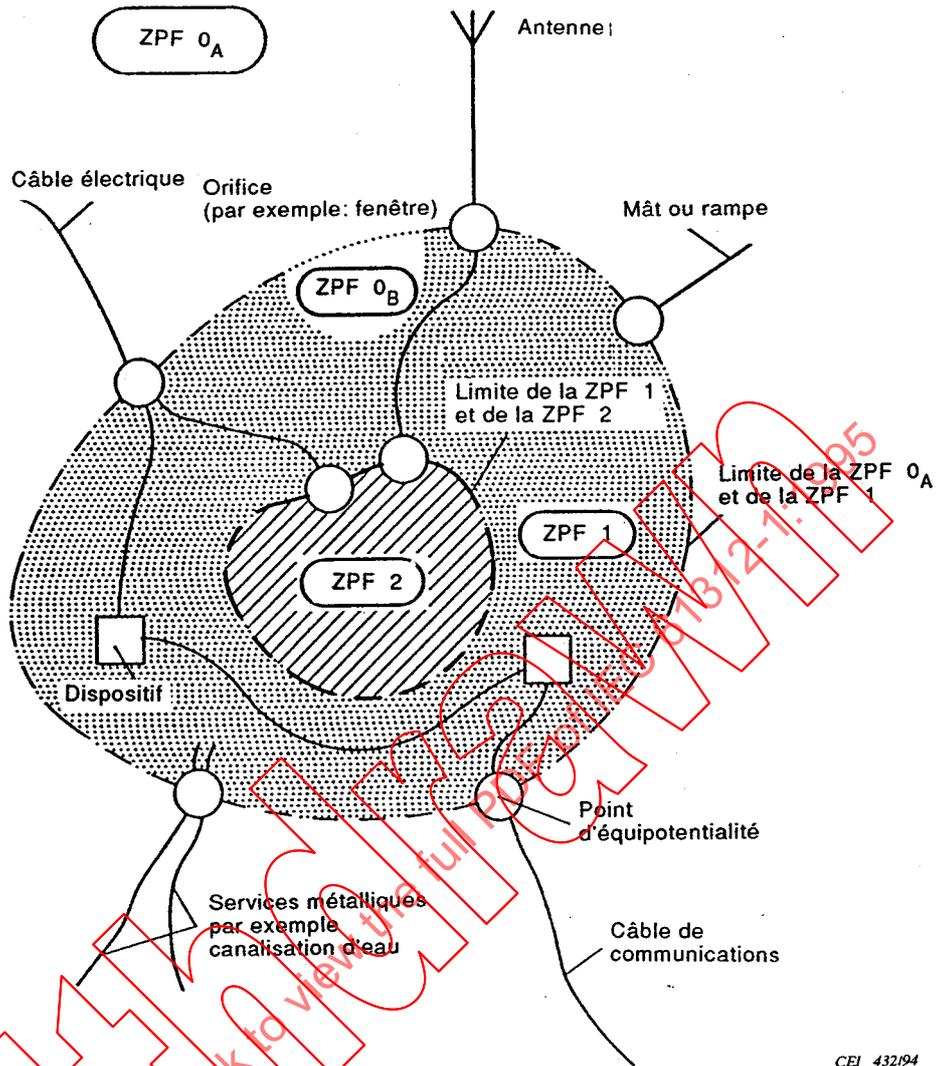
Figure 1b - Long duration stroke

Figure 1 - Definitions of stroke parameters



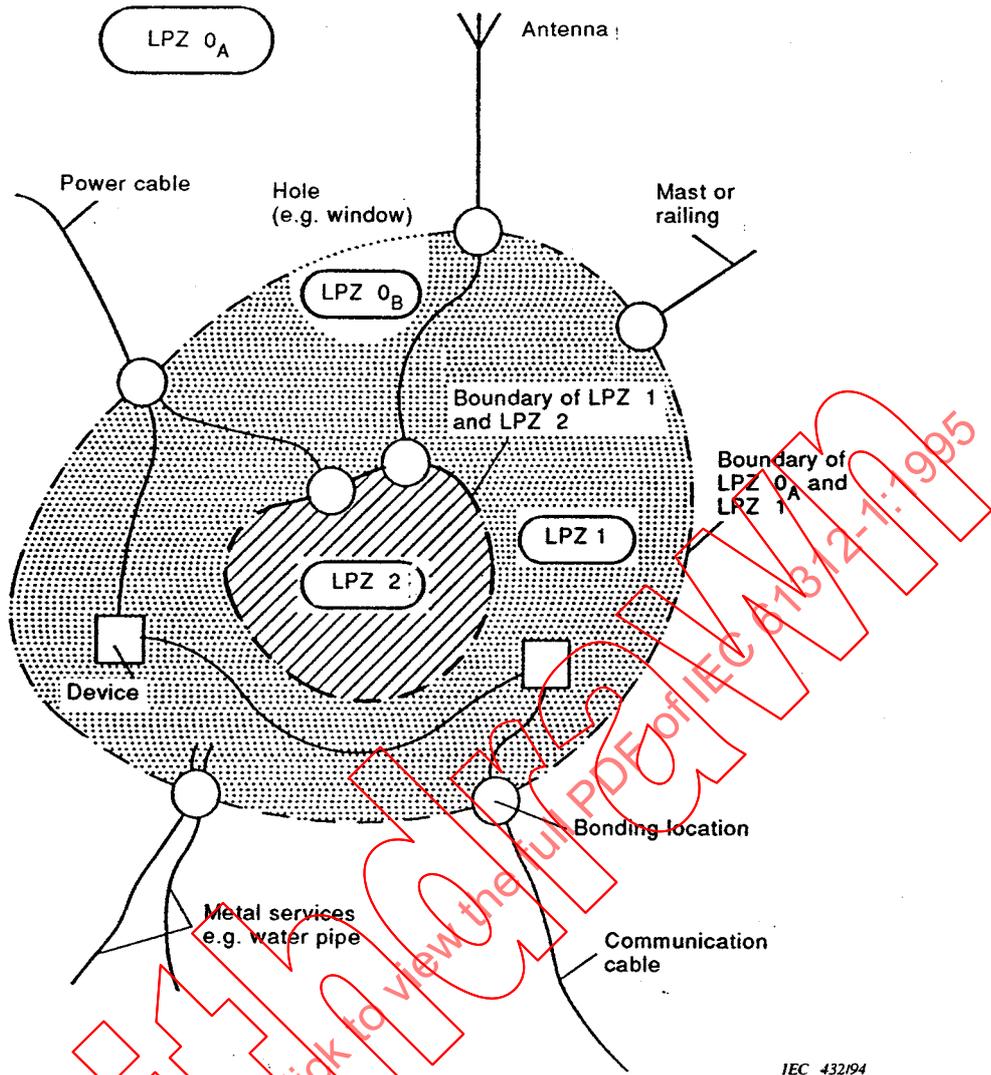
IEC 431/94

Figure 2 - Strokes in a flash



CEI 432/94

Figure 3 – Principe de la division d'un volume à protéger en différentes zones de protection contre la foudre (ZPF)



IEC 432/94

Figure 3 – Principle of the division of a volume to be protected into different lightning protection zones (LPZ)

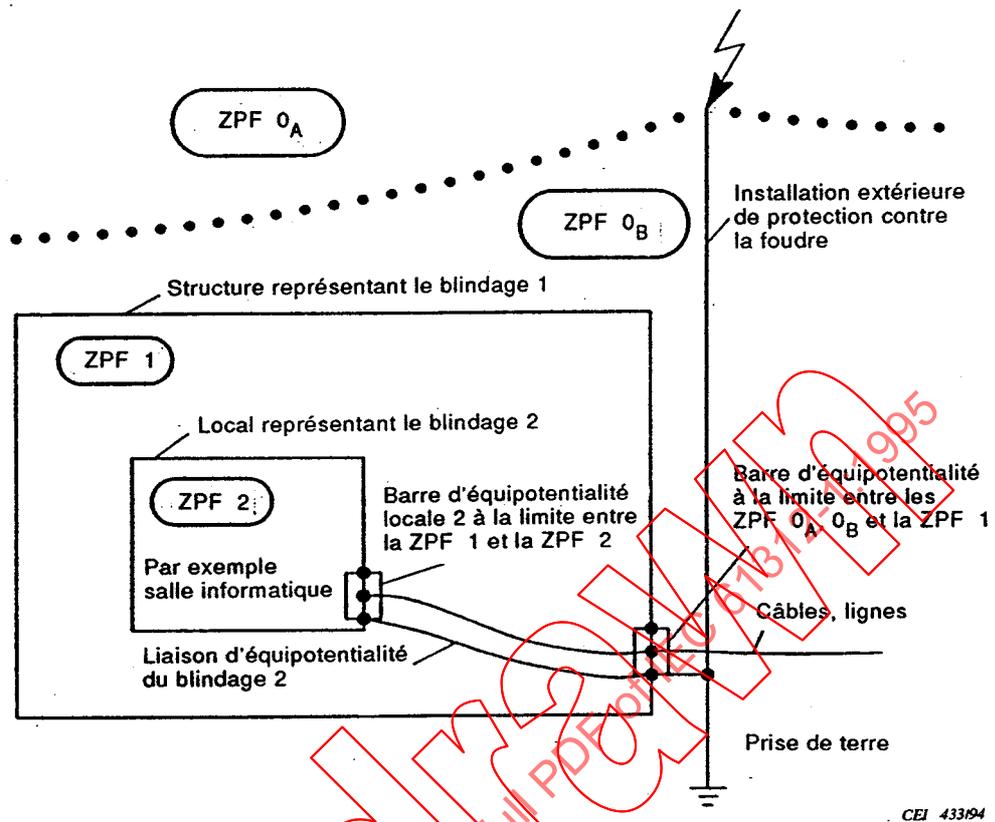


Figure 4 – Exemple de division d'une structure en plusieurs zones de protection contre la foudre avec liaison d'équipotentialité adéquate

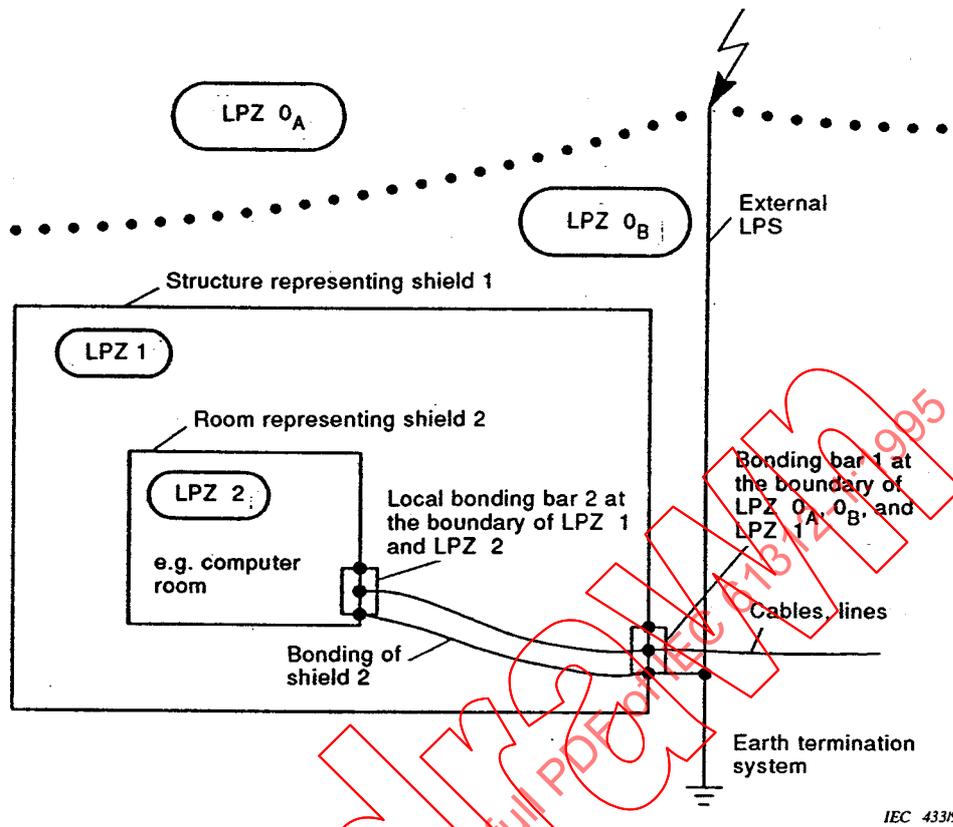


Figure 4 – Example for dividing a structure into several LPZs and adequate bonding

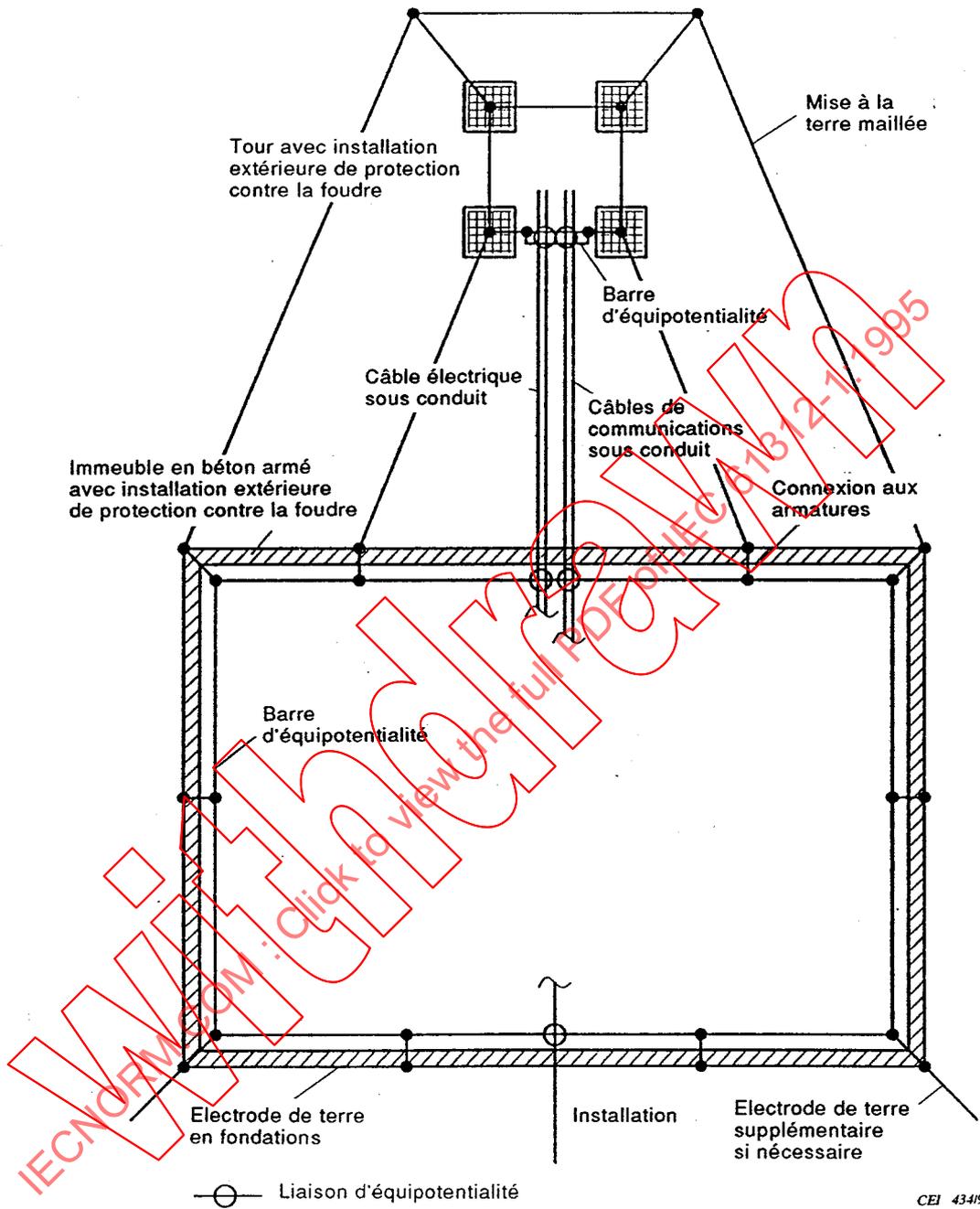


Figure 5 – Exemple de mise à la terre maillée

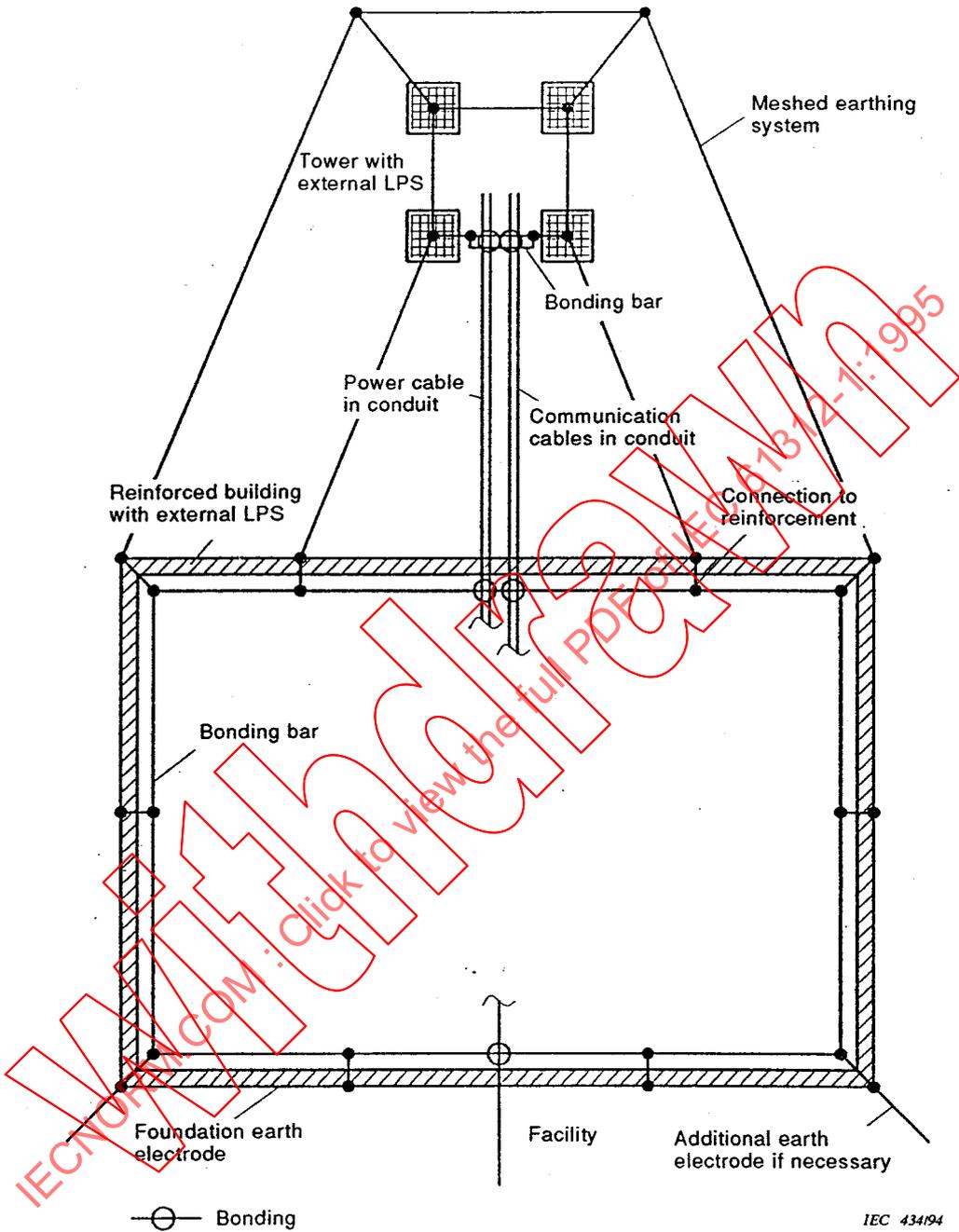
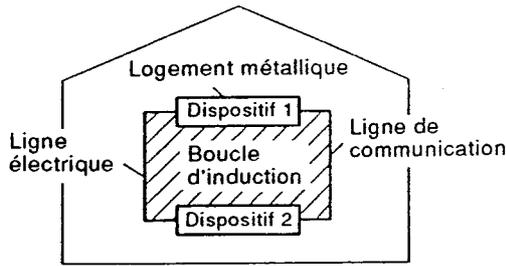
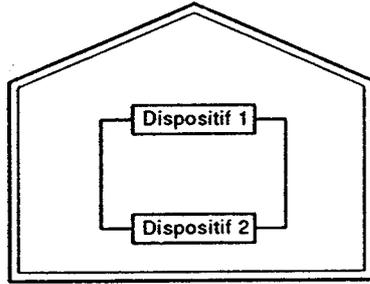


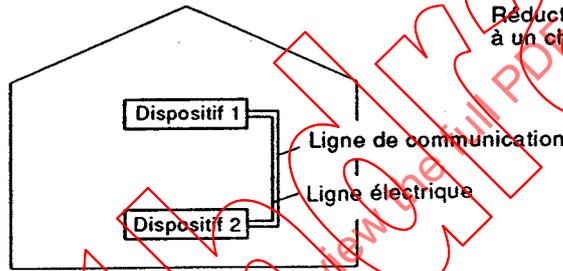
Figure 5 – Example for meshed earthing



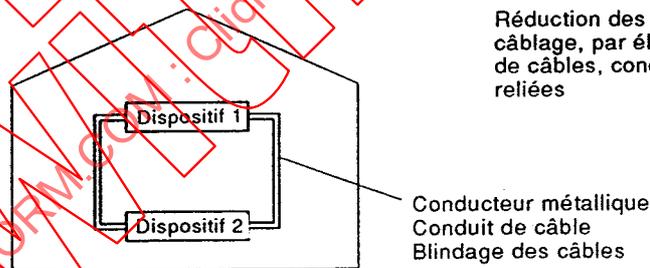
Installation non protégée



Réduction des effets induits due aux mesures de protection par blindage extérieur



Réduction des effets induits due à un cheminement adéquat



Réduction des effets induits par blindage du câblage, par éléments métalliques, goulottes de câbles, conduits et manchettes entièrement reliées

CEI 435194

Figure 6 – Mesures de blindage et de cheminement

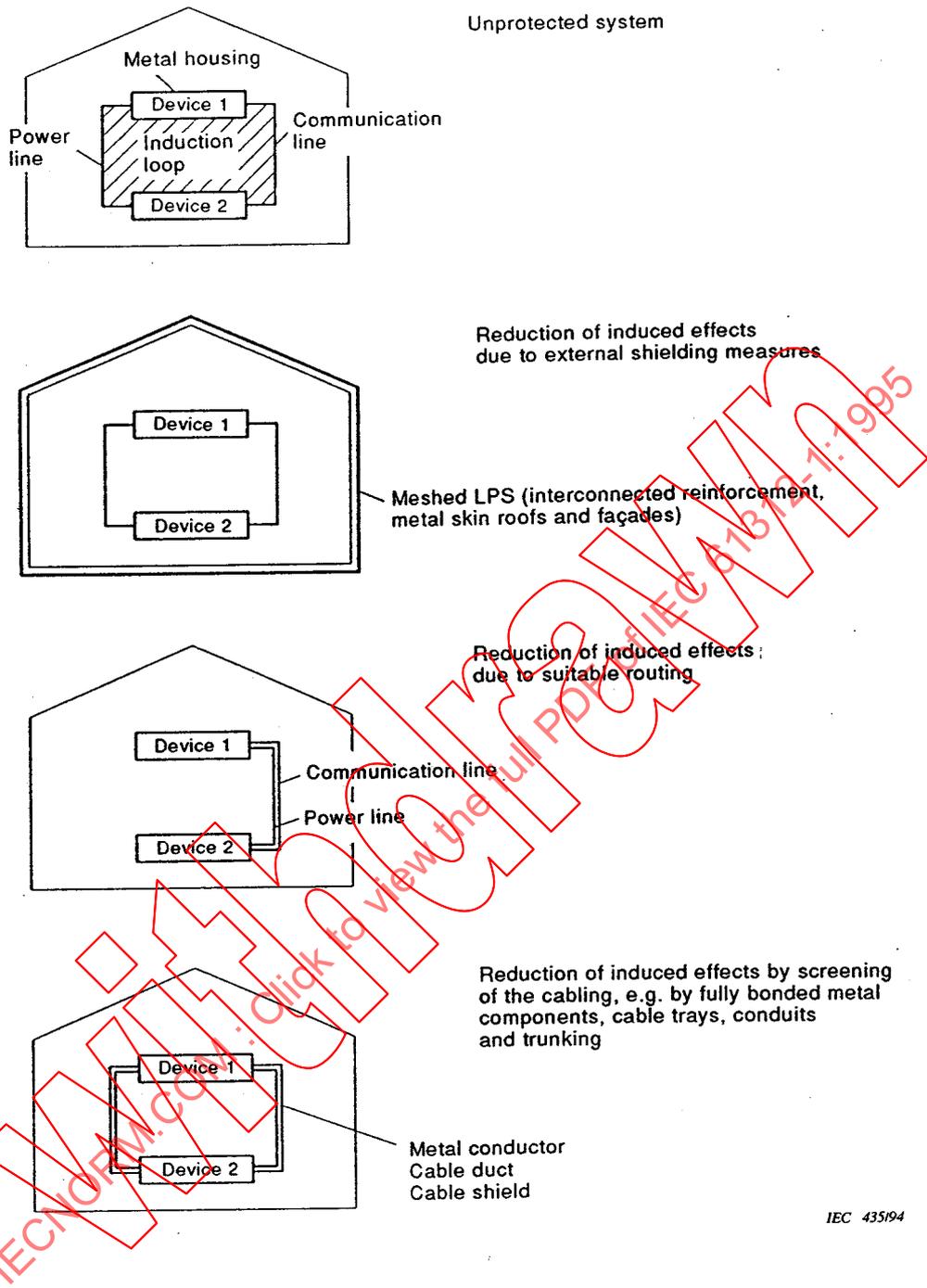
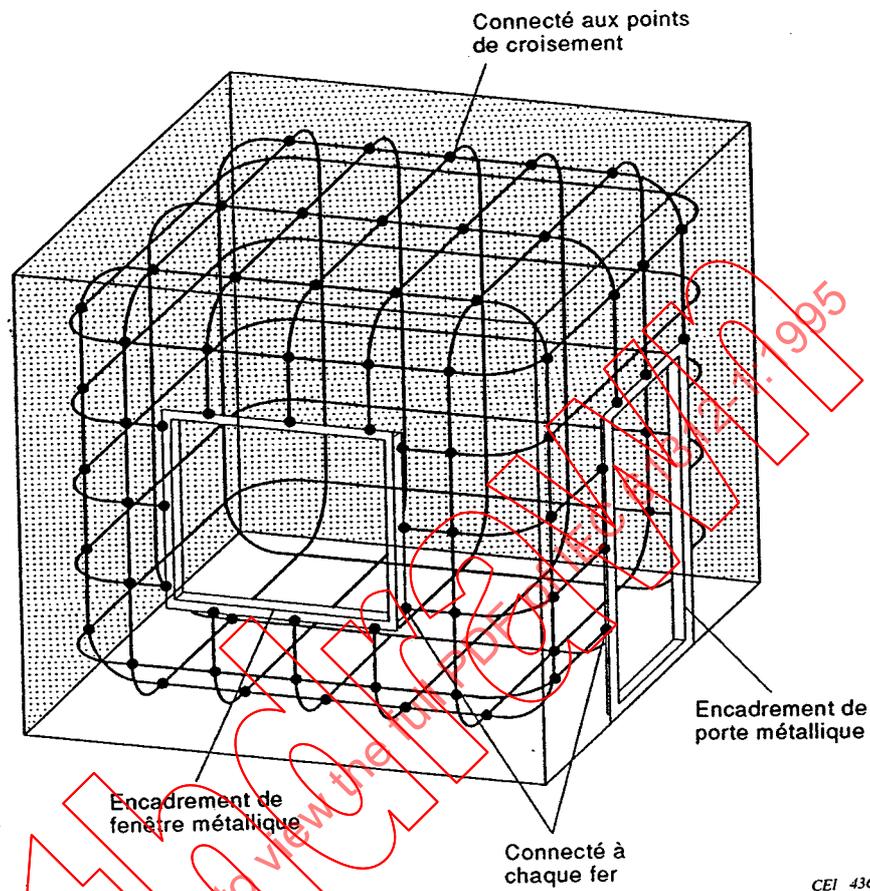


Figure 6 – Shielding and routing measures



CEI 436/94

Figure 7 – Exemple de mesure destinée à réaliser une réduction du champ magnétique à l'intérieur par la connexion des fers d'armature aux encadrements métalliques

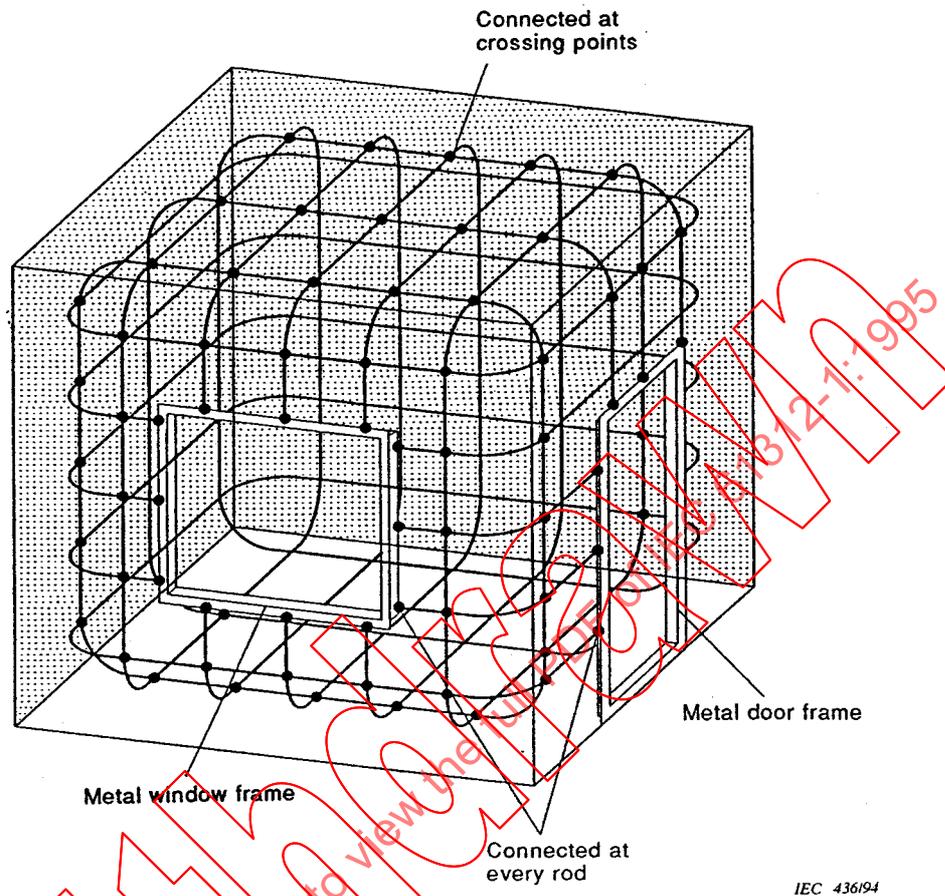


Figure 7 – Example of a measure to achieve a reduction of the magnetic field inside by the connection of the reinforcing rods to metal frames

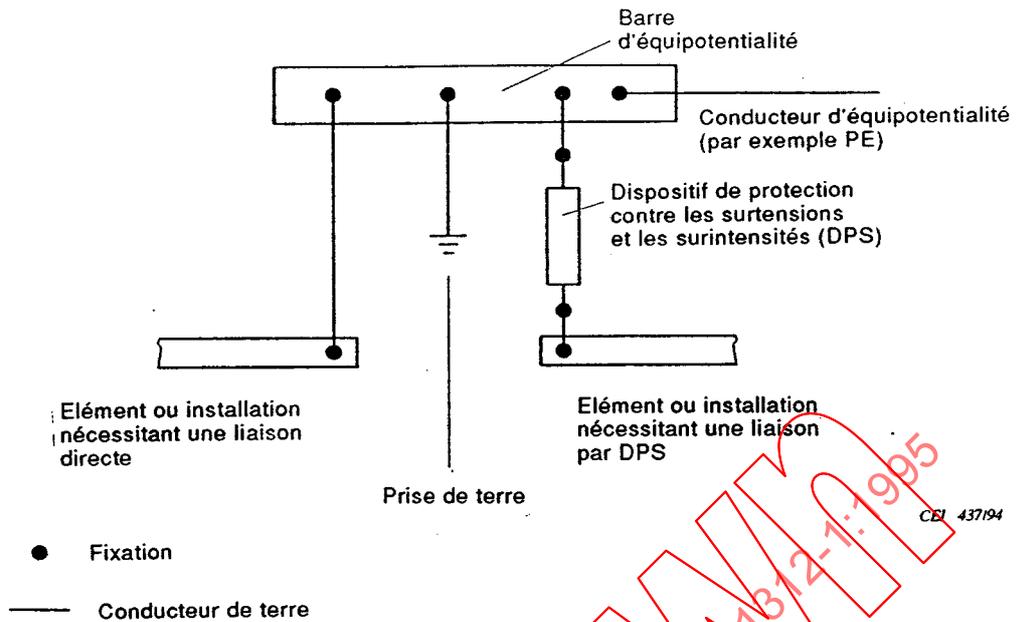


Figure 8 – Liaison des éléments conducteurs ou des installations électriques à une barre d'équipotentialité

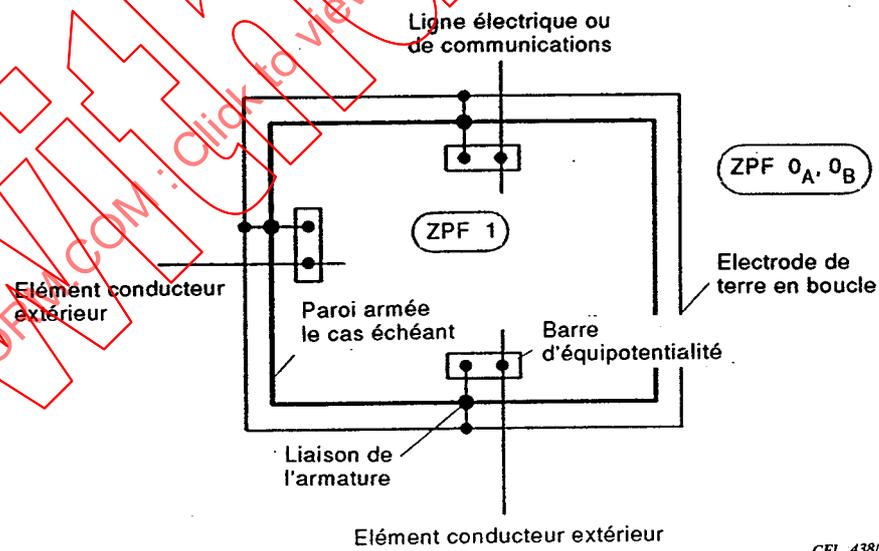


Figure 9 – Liaison d'équipotentialité dans le cas de points d'entrée multiples au niveau du sol d'éléments conducteurs extérieurs, utilisant une électrode de terre en boucle

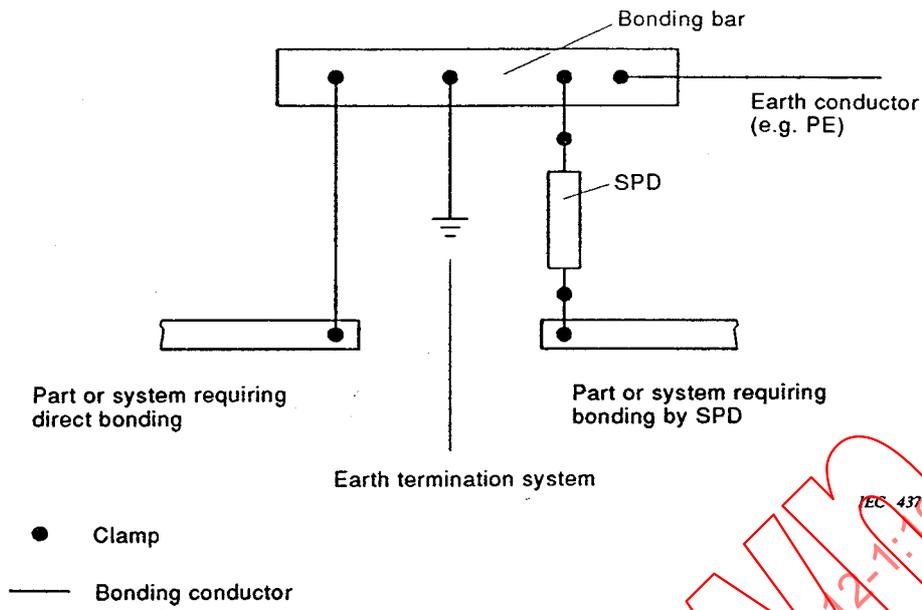


Figure 8 – Bonding of conductive parts or electrical systems to a bonding bar

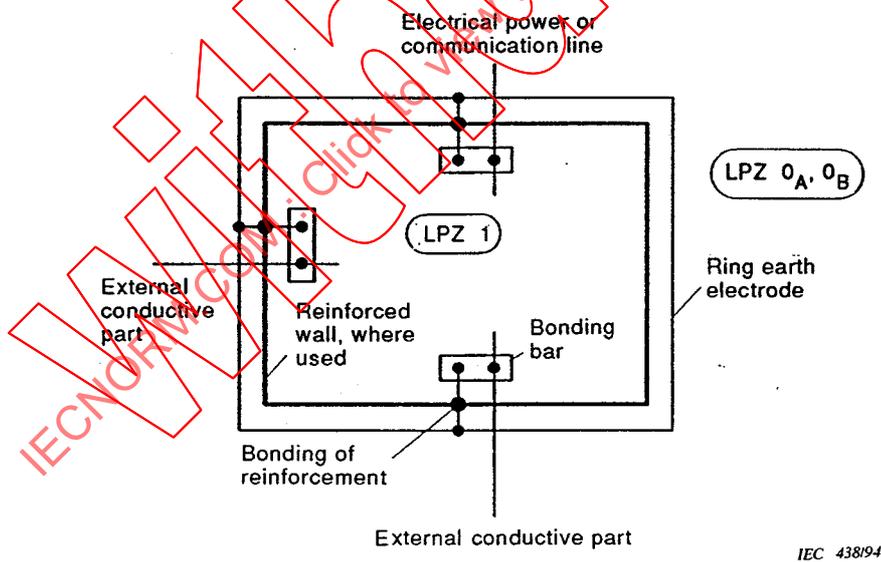


Figure 9 – Bonding in the case of multiple point entry at ground level of external conductive parts using a ring earth electrode

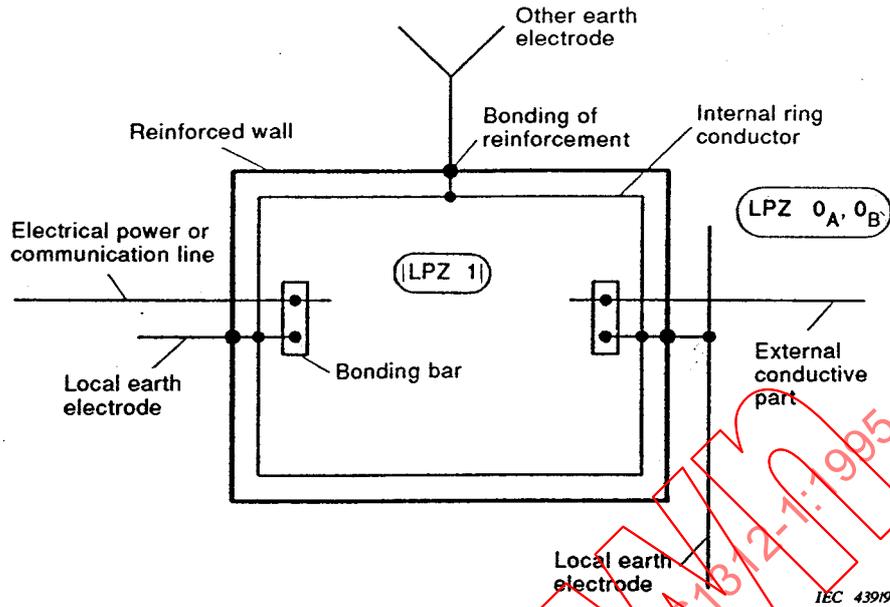


Figure 10 – Liaison d'équipotentialité dans le cas de points d'entrée multiples au niveau du sol d'éléments conducteurs extérieurs, utilisant un conducteur en boucle interne

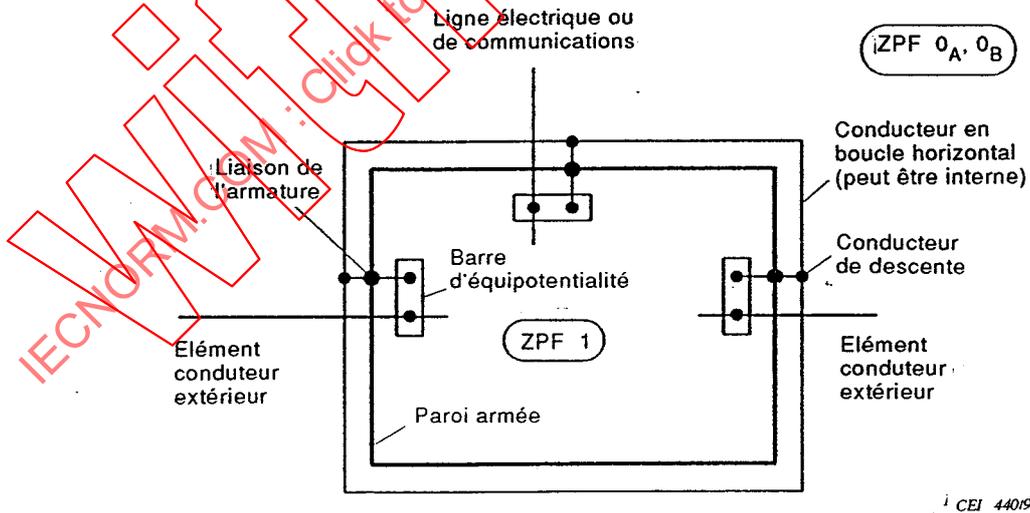


Figure 11 – Liaison d'équipotentialité dans le cas de points d'entrée multiples au niveau du sol d'éléments conducteurs extérieurs

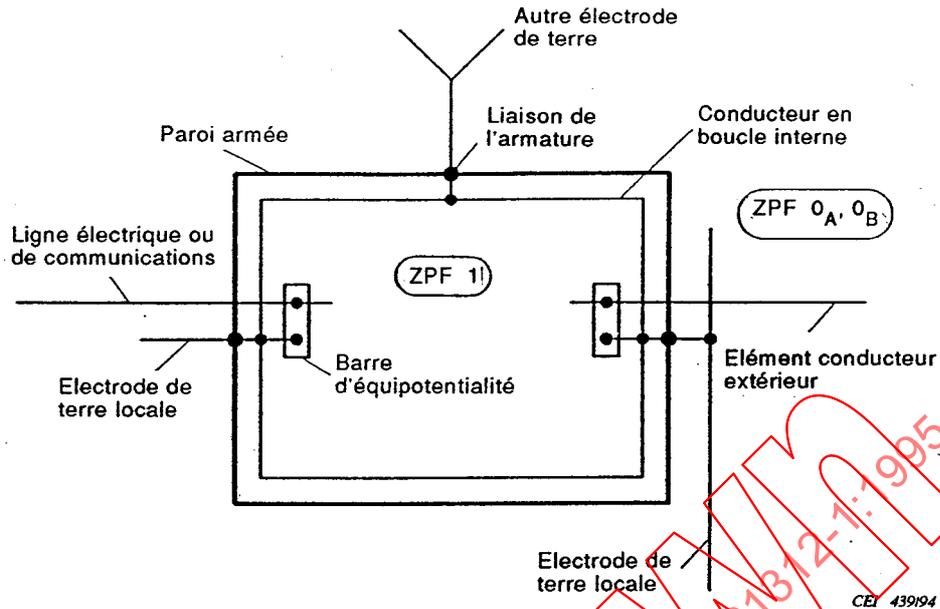


Figure 10 – Bonding in the case of multiple point entry at ground level of external conductive parts using an internal ring conductor

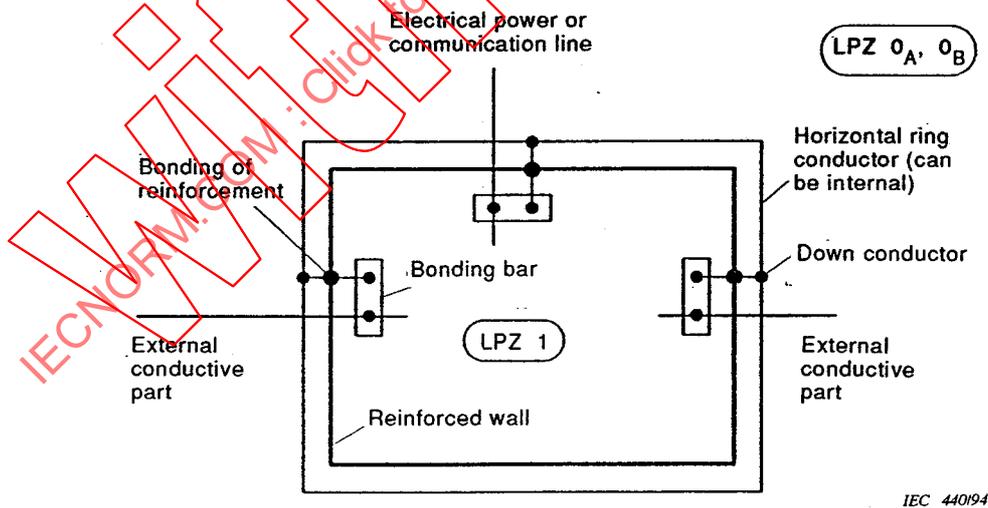


Figure 11 – Bonding in the case of multiple point entry above ground level of external conductive parts

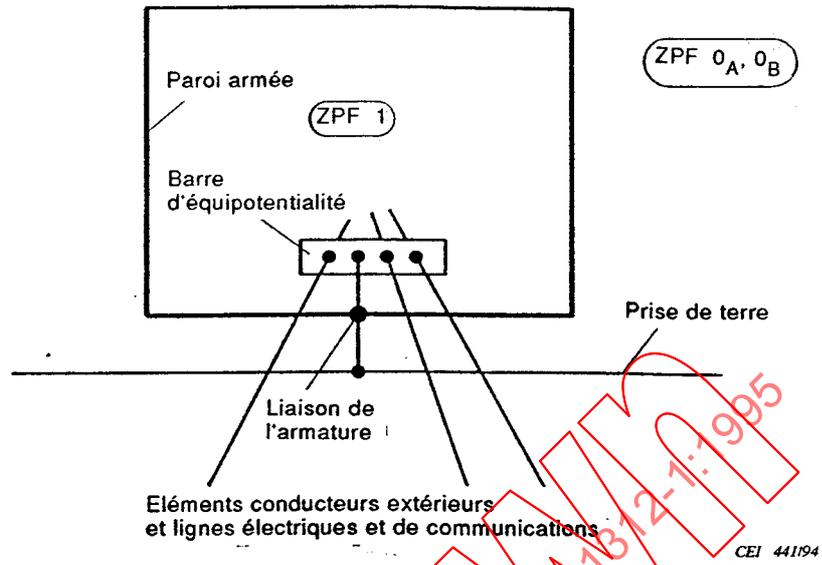


Figure 12 – Liaison d'équipotentialité dans le cas d'un point d'entrée unique des éléments conducteurs extérieurs

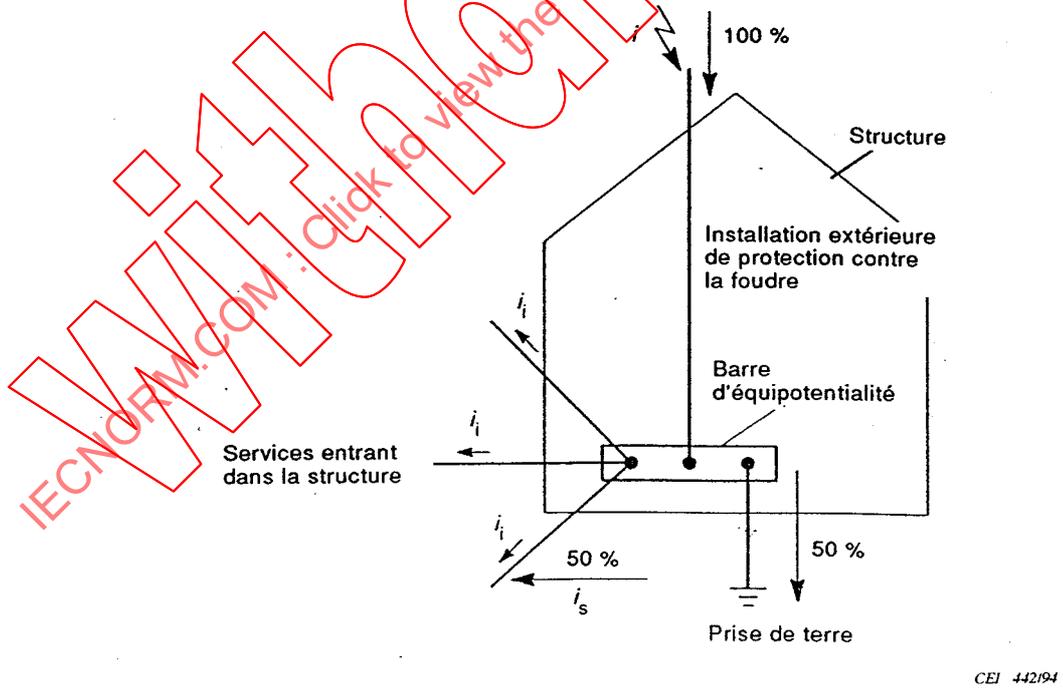


Figure 13 – Distribution du courant de décharge atmosphérique entre les services et la structure

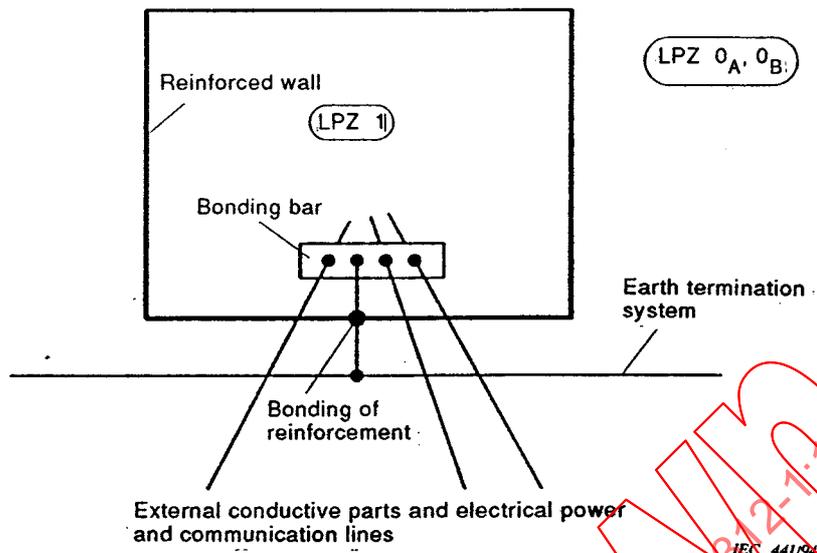


Figure 12 – Bonding in the case of single point entry of external conductive parts

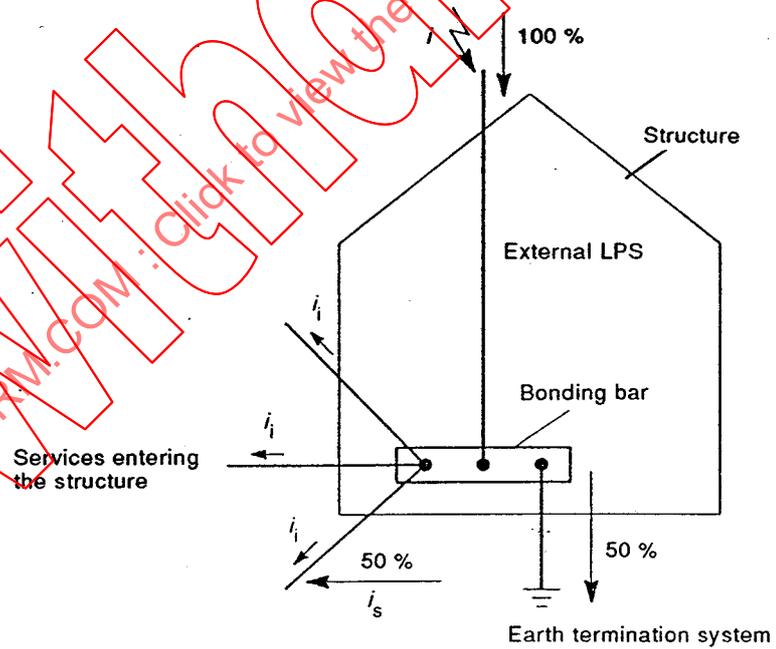
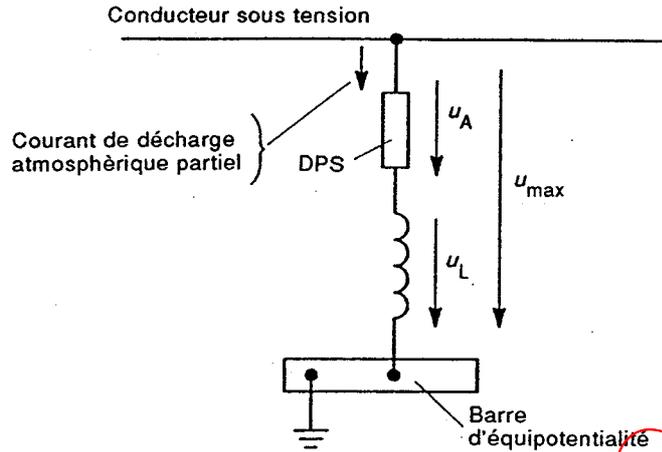
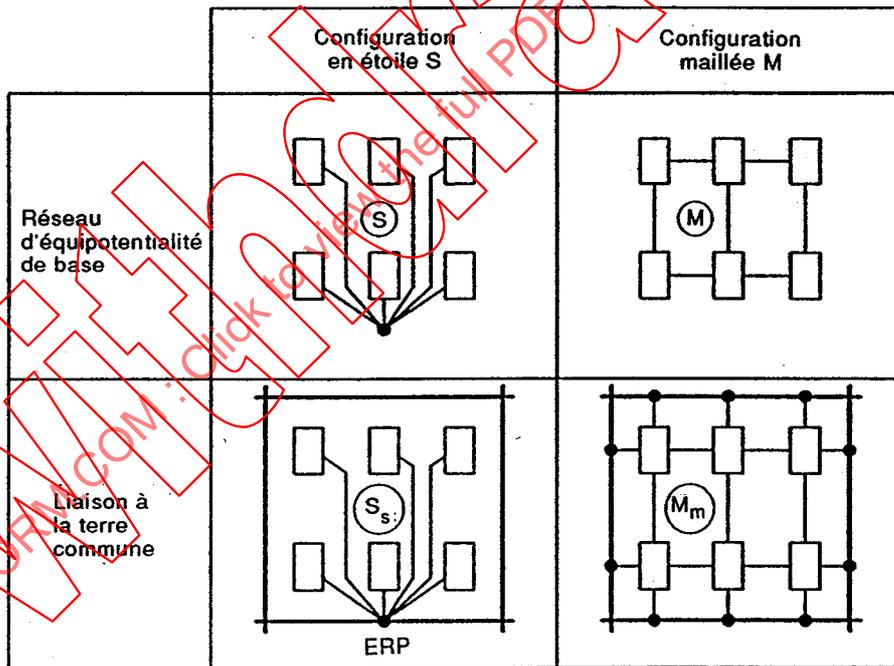


Figure 13 – Lightning current distribution between the services to the structure



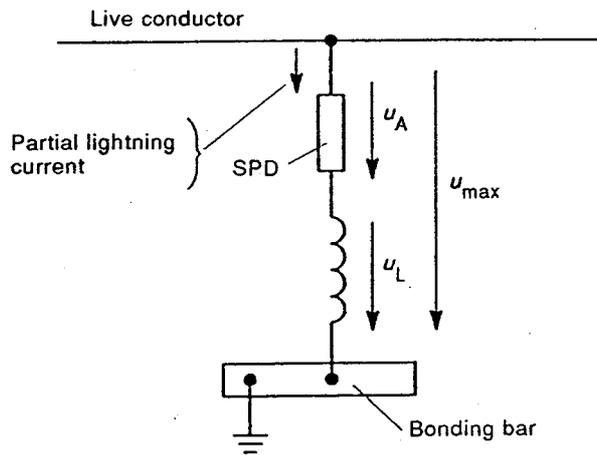
- u_A = Tension aux bornes du dispositif de protection contre les surtensions et les surintensités
- u_L = Tension inductive
- u_{max} = Surtension maximale entre le conducteur sous tension et la barre d'équipotentialité

Figure 14 – Surtension entre un conducteur sous tension et la barre d'équipotentialité



- = Terre commune de la structure
- = Réseau d'équipotentialité
- = Appareil
- = Connexion du réseau d'équipotentialité à la terre commune
- PRT = Point de référence de mise à la terre

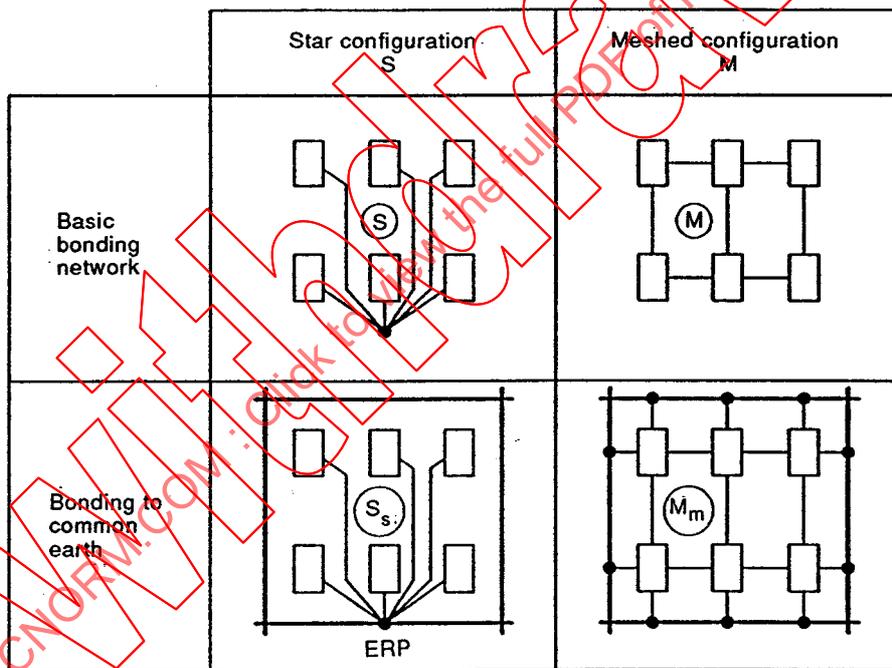
Figure 15 – Méthodes élémentaires de liaison d'équipotentialité des systèmes informatiques



IEC 443/94

- u_A = Clamping voltage of the SPD
- u_L = Inductive voltage
- u_{max} = Maximum surge voltage between live conductor and bonding bar

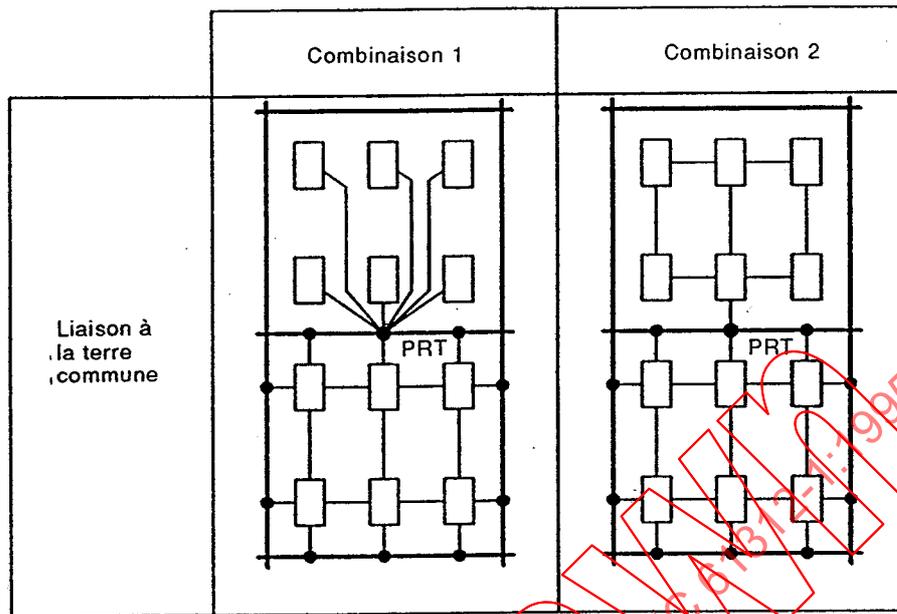
Figure 14 – Surge voltage between live conductor and bonding bar



IEC 444/94

- = Common earthing system of the structure
- = Bonding network
- = Item of equipment
- = Connection of the bonding network to the common earth
- ERP = Earthing reference point

Figure 15 – Basic methods of bonding for information systems



CEI 445194

- = Terre commune de la structure
- = Réseau d'équipotentialité
- = Appareil
- = Connexion du réseau d'équipotentialité à la terre commune
- PRT = Point de référence de mise à la terre

Figure 16 – Combinaisons des méthodes de liaison d'équipotentialité des systèmes informatiques

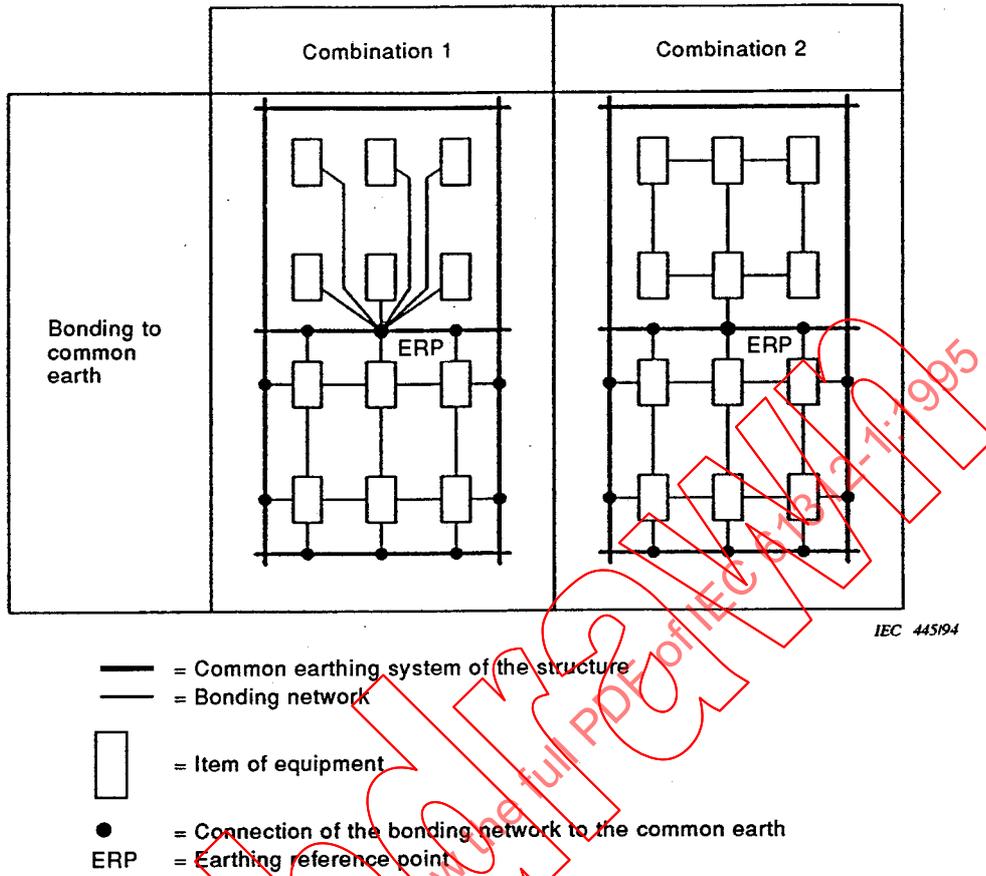


Figure 16 – Combinations of bonding methods for information systems

Annexe A (informative)

Informations relatives aux paramètres fixés pour les courants de décharge atmosphérique

A.1 Probabilités des paramètres

Les paramètres du courant de décharge atmosphérique fixés dans l'alinéa 2.2 sont basés sur les résultats de la CIGRE (Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques) communiqués dans les documents *Electra* 41(1975) et 69(1980).

Les probabilités de plusieurs paramètres sont indiquées à la figure A.1. Les distributions de probabilité sont largement indépendantes les unes des autres.

A.2 Premier coup de foudre et coup de foudre de longue durée

Le tableau 1 combine les paramètres de courant, d'énergie, de charge et de durée, du fait que chacun de ces paramètres tend à être dominant selon le mécanisme de défaillance considéré. En première approche, on suppose que 10 % de tous les éclairs sont positifs et 90 % négatifs. En dépit de ce faible rapport d'éclairs positifs/éclairs négatifs, les éclairs positifs, composés uniquement d'un premier coup de foudre et d'un coup de foudre de longue durée, déterminent les valeurs maximales des paramètres I , Q et W/R à prendre en compte. Si, en fonction du niveau de protection I , environ 99 % de tous les éclairs doivent être couverts, les éclairs positifs présentant des probabilités inférieures à 10 % déterminent les valeurs maximales du courant crête I , de la charge de l'éclair Q_f , de la charge des coups de foudre de courte durée Q_s et de l'énergie spécifique W/R . (Les valeurs des probabilités correspondantes de 1 % des éclairs négatifs sont très inférieures aux valeurs des probabilités de 10 % des éclairs positifs et c'est la raison pour laquelle on peut ne pas en tenir compte).

NOTE – Une évaluation plus détaillée des paramètres des courants de foudre est à l'étude.

Les valeurs arrondies suivantes présentant des probabilités quelque peu inférieures à 10 % peuvent être tirées de la figure A.1, courbes 3, 5, 8 et 11:

$$\begin{aligned} I &= 200 \text{ kA} \\ Q_f &= 300 \text{ C} \\ Q_s &= 100 \text{ C} \\ W/R &= 10 \text{ MJ}/\Omega \end{aligned}$$

Pour un courant de coup de foudre décroissant de manière exponentielle, les relations suivantes s'appliquent approximativement:

$$Q_s = (1/0,7) \times I \times T_2$$

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

(T_1 présente un intérêt moindre),

où T_1 est la durée du front et T_2 la durée jusqu'à la mi-amplitude du courant (voir figure 1).

Annex A (informative)

Background of the fixed lightning current parameters

A.1 Probabilities of the parameters

The lightning current parameters fixed in subclause 2.2 are based on the results of CIGRE given in *Electra* 41(1975) and 69(1980).

In figure A.1 the probabilities of several parameters are shown. Probabilities are substantially independent of each other.

A.2 First stroke and long duration stroke

Table 1 combines current parameters, charge, energy and duration, since a single parameter tends to dominate each failure mechanism. As a first approach it is assumed that 10 % of all flashes are positive and 90 % are negative. Despite this low ratio of positive to negative flashes, the positive ones, consisting only of a first stroke and a long duration stroke, determine the maximum values of the parameters I , Q and W/R to be considered. If according to protection level I, approximately 99 % of all flashes are to be covered, the positive flashes with probabilities below 10 % determine the maximum values of the peak current I , the charge of the flash Q , the charge of the short duration strokes Q_s and the specific energy W/R . (The values of the corresponding 1 % probabilities of the negative flashes are much lower than the values of the 10 % probabilities of the positive flashes, and may be disregarded for that reason).

NOTE – A more precise evaluation of the lightning current parameters is under consideration.

From figure A.1, curves 3, 5, 8 and 11, the following rounded values with probabilities somewhat below 10 % can be taken:

$$\begin{aligned} I &= 200 \text{ kA} \\ Q_t &= 300 \text{ C} \\ Q_s &= 100 \text{ C} \\ W/R &= 10 \text{ MJ}/\Omega \end{aligned}$$

For an exponentially decaying stroke current approximately applies:

$$Q_s = (1/0,7) \times I \times T_2$$

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

(T_1 is of minor interest),

where T_1 is the front time and T_2 the time to the half value of the current (see figure 1).

Les valeurs de I , Q_s , et W/R sont couvertes par le premier coup de foudre (voir tableau 1).

Pour la charge Q_1 du coup de foudre de longue durée, on a la relation:

$$Q_1 = Q_f - Q_s = 300 \text{ C} - 100 \text{ C} = 200 \text{ C}$$

(voir tableau 3).

A.3 Coup de foudre subséquent

Les coups de foudre négatifs subséquents déterminent la valeur maximale de la vitesse moyenne d'accroissement du courant dans le front. Si en fonction du niveau de protection I approximativement 99 % de tous les éclairs doivent être couverts, les coups de foudre négatifs subséquents présentant des probabilités inférieures à 1 % doivent être pris en compte.

D'après la figure A.1, courbe 15, la valeur arrondie, de probabilité quelque peu inférieure à 1 % de la vitesse moyenne d'accroissement du courant entre la valeur 30 % et la valeur 90 % du front vaut

$$(\Delta i / \Delta t)_{30\%/90\%} = 200 \text{ kA}/\mu\text{s}$$

On suppose que cette valeur est la valeur moyenne de la vitesse d'accroissement du courant dans le front, I/T_1 .

Toujours d'après la figure A.1, courbe 2, la valeur arrondie, de probabilité quelque peu inférieure à 1 % de I est 50 kA. Il en résulte la durée de front correspondante

$$T_1 = 50 \text{ kA} / 200 \text{ (kA}/\mu\text{s}) = 0,25 \mu\text{s}.$$

A partir de cette durée, les valeurs

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

$$T_1 = 0,25 \mu\text{s} \text{ en fonction de}$$

$$I/T_1 = 200 \text{ kA}/\mu\text{s}$$

sont fixées pour le coup de foudre subséquent dans le tableau 2.

(T_2 présente un intérêt secondaire).

A.4 Différents niveaux de protection

Pour le niveau de protection II, 75 %, et pour le niveau de protection III-IV, 50 % des valeurs du niveau de protection I sont fixées.

Ces valeurs sont données dans les tableaux 1 à 3.

The values of I , Q_s and W/R (see table 1), are covered by the first stroke.

For the charge Q_1 of the long duration stroke the relationship is as follows:

$$Q_1 = Q_f - Q_s = 300 \text{ C} - 100 \text{ C} = 200 \text{ C}$$

(see table 3).

A.3 Subsequent stroke

The negative subsequent strokes determine the maximum value of the average rate of rise of the current in the front. If, according to protection level I, approximately 99 % of all flashes are to be covered, the negative subsequent strokes with probabilities below 1 % should be considered.

From figure A.1, curve 15, the rounded value with probability somewhat below 1 % of the average rate of rise of the current between the 30 % value and the 90 % value in the front gives

$$(\Delta i / \Delta t)_{30\% / 90\%} = 200 \text{ kA}/\mu\text{s}$$

This value is assumed as average value of the rate of rise of the current in the front, I / T_1 .

Also from figure A.1, curve 2, the rounded value with a probability somewhat below 1 % of I is 50 kA. From this results a corresponding front time of

$$T_1 = 50 \text{ kA} / 200 \text{ (kA}/\mu\text{s}) = 0,25 \mu\text{s}.$$

From this, the values of

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

$$T_1 = 0,25 \mu\text{s} \text{ according to}$$

$$I / T_1 = 200 \text{ kA}/\mu\text{s}$$

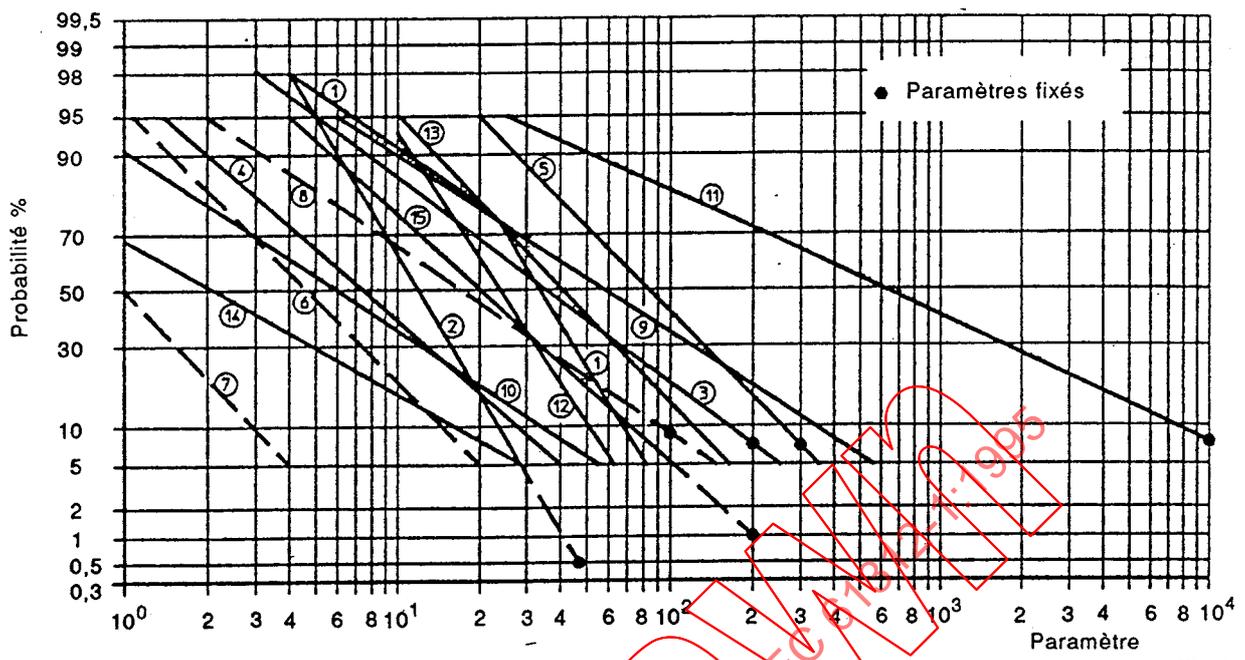
are fixed for the subsequent stroke in table 2.

(T_2 is of minor interest).

A.4 Different protection levels

For the protection level II, 75 %, and for the protection level III-IV, 50 % of the values of protection level I are fixed.

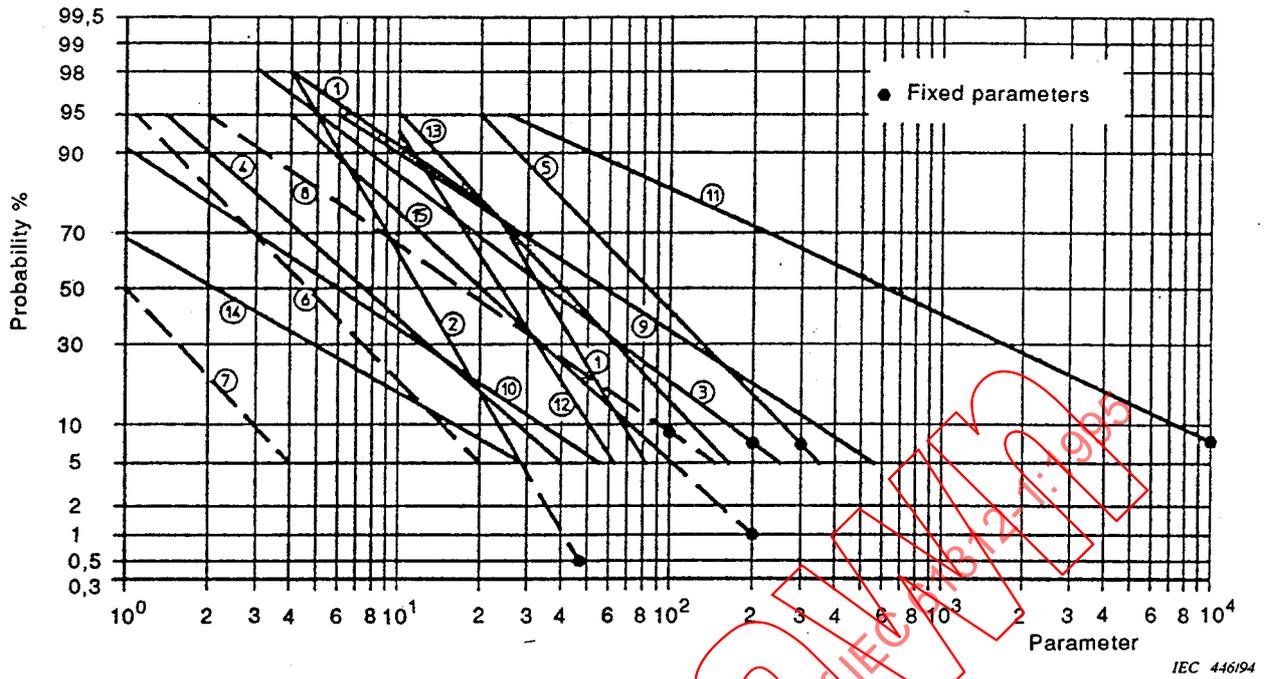
These values are listed in tables 1 to 3.



CEI 446194

Paramètres	Echelle d'abscisse	Eclair positif	Premier coup de foudre positif	Eclair négatif	Premier coup de foudre négatif	Coups de foudre négatifs subséquents
I	kA		③ •		①	② •
Q_f	C	⑤ •		④		
Q_s	C		⑧ •		⑥	⑦
W/R	kJ/Ω		⑪ •		⑨	⑩
$(\Delta i/\Delta t)_{max}$	kA/μs		⑭		⑫	⑬
$(\Delta i/\Delta t)_{30\%/90\%}$	kA/μs					⑮ •

Figure A.1 – Probabilités des paramètres du courant de décharge atmosphérique



Parameter	Scale of abscissa	Positive flash	First positive stroke	Negative flash	First negative stroke	Negative subsequent strokes
I	kA		③ •		①	② •
Q_f	C	⑤ •		④		
Q_s	C		⑧ •		⑥	⑦
W/R	k Ω		⑪ •		⑨	⑩
$(\Delta i/\Delta t)_{max}$	kA/ μ s		⑭		⑫	⑬
$(\Delta i/\Delta t)_{30\%/90\%}$	kA/ μ s					⑮ •

Figure A.1 – Probabilities of lightning current parameters

Annexe B
(informative)

**Fonction temporelle du courant de décharge atmosphérique
aux fins d'analyse**

Les formes d'onde du courant du

- premier coup de foudre 10/350 µs
- coup de foudre subséquent 0,25/100 µs

aux fins d'analyse peuvent être définies comme:

$$i = \frac{I}{h} \cdot \frac{(t/\tau_1)^{10}}{1 + (t/\tau_1)^{10}} \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau_2}\right)$$

où

I est le courant crête

h est le facteur de correction du courant crête

t est le temps

τ_1 est la constante de temps du front

τ_2 est la constante de temps de la queue

Pour donner la forme d'onde du premier coup de foudre et la forme d'onde du coup de foudre subséquent pour différents niveaux de protection, les paramètres indiqués dans le tableau B.1 s'appliquent. Les figures B.1 à B.4 représentent les courbes analytiques.

Le coup de foudre de longue durée peut être représenté par une forme d'onde rectangulaire de courant moyen *I* et de durée *T* conformément au tableau 3.

La densité d'amplitude du courant de décharge atmosphérique peut être dérivée des courbes analytiques: figure B.5.

Tableau B.1 – Paramètres de l'équation de l'annexe B

Paramètres	Premier coup de foudre			Coup de foudre subséquent		
	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>h</i>	0,930	0,930	0,930	0,993	0,993	0,993
τ_1 (µs)	19,0	19,0	19,0'	0,454	0,454	0,454
τ_2 (µs)	485	485	485	143	143	143

Annex B (informative)

Time function of the lightning current for analysis purposes

The current wave forms of

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

for analysis purposes may be defined as:

$$i = \frac{I}{h} \cdot \frac{(t/\tau_1)^{10}}{1 + (t/\tau_1)^{10}} \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau_2}\right)$$

where

- I is the peak current
- h 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

To give the first stroke current waveform and the subsequent stroke current waveform for various protection levels, the parameters given in table B.1 apply. The analytic curves are depicted in figures B.1 to B.4.

The long duration stroke can be described by a rectangular waveform with an average current I and a duration T according to table 3.

From the analytic curves the amplitude density of the lightning current can be derived: figure B.5.

Table B.1 – Parameters for equation in annex B

Parameters	First stroke			Subsequent stroke		
	Protection level			Protection level		
	I	II	III-IV	I	II	III-IV
I (kA)	200	150	100	50	37,5	25
h	0,930	0,930	0,930	0,993	0,993	0,993
τ_1 (μs)	19,0	19,0	19,0'	0,454	0,454	0,454
τ_2 (μs)	485	485	485	143	143	143

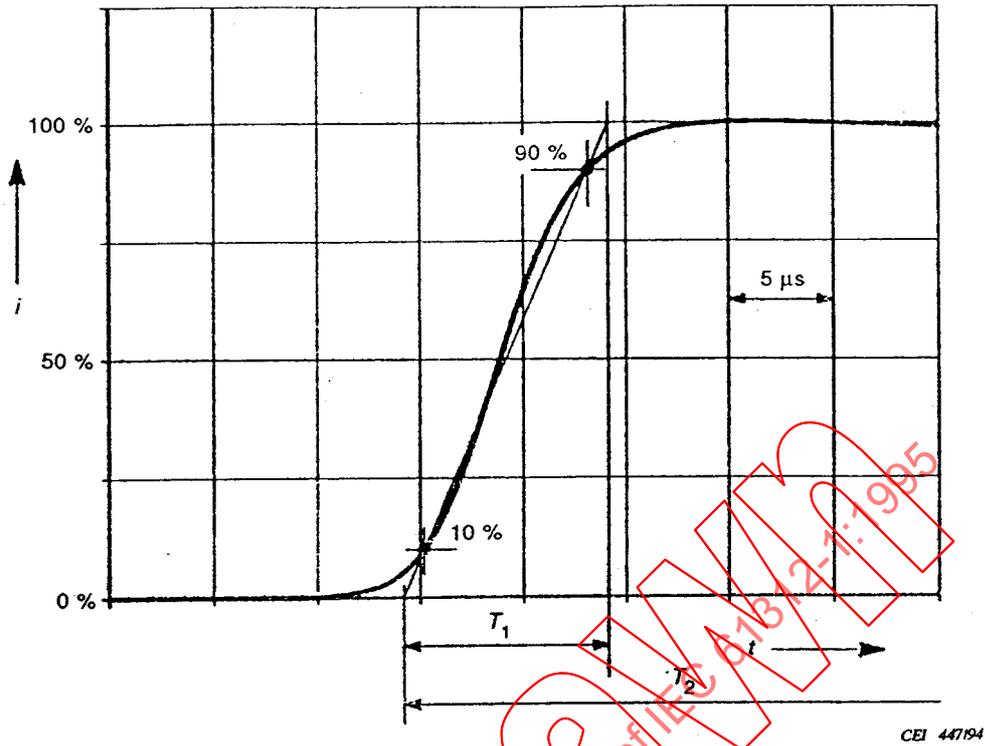


Figure B.1 – Forme d'onde de la montée du courant du premier coup de foudre

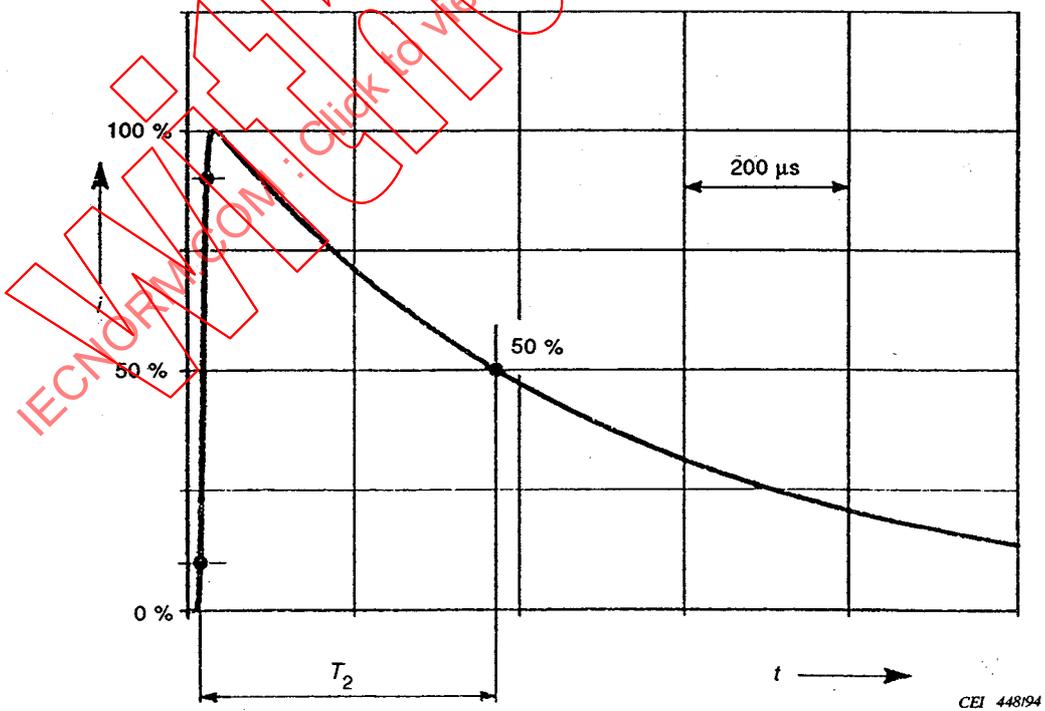


Figure B.2 – Forme d'onde de la queue du courant du premier coup de foudre

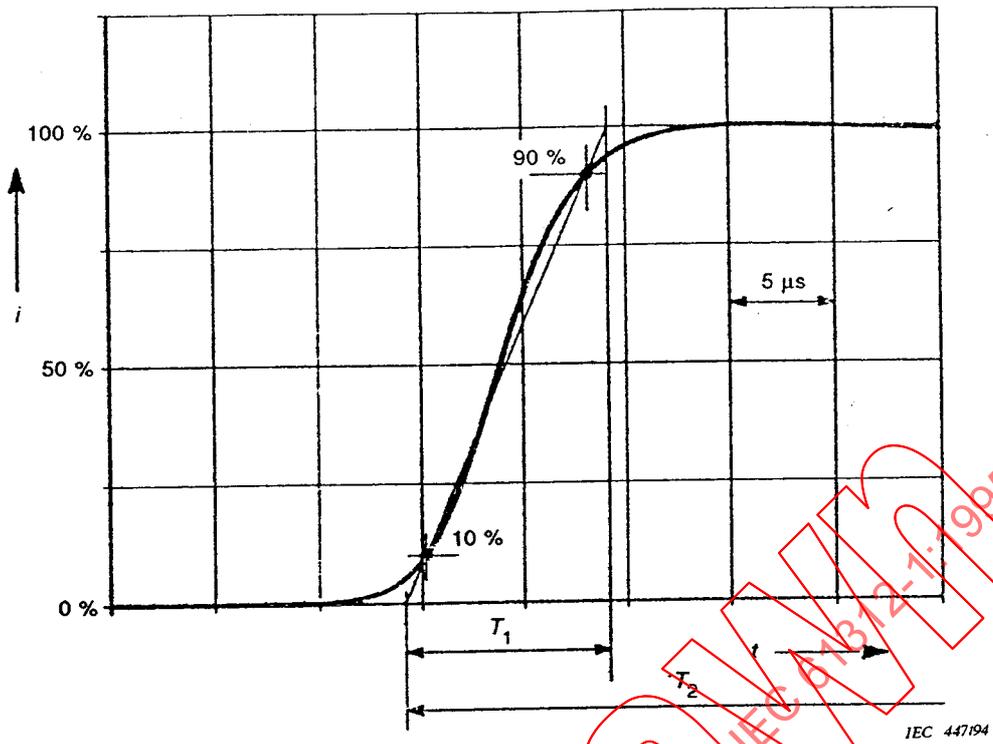


Figure B.1 – Waveform of the current rise of the first stroke

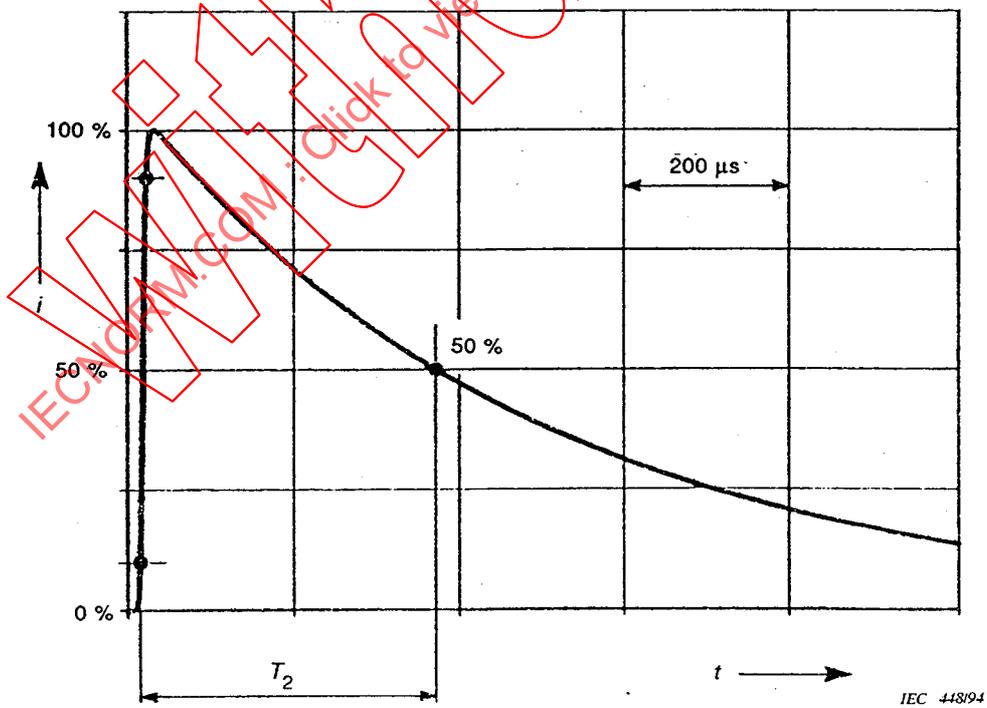
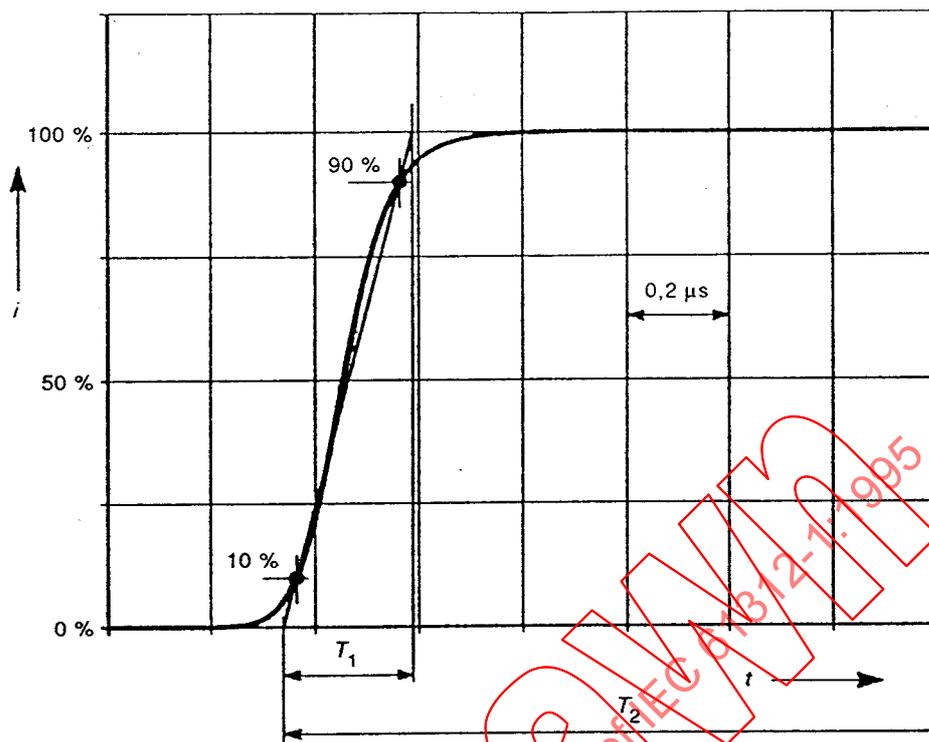
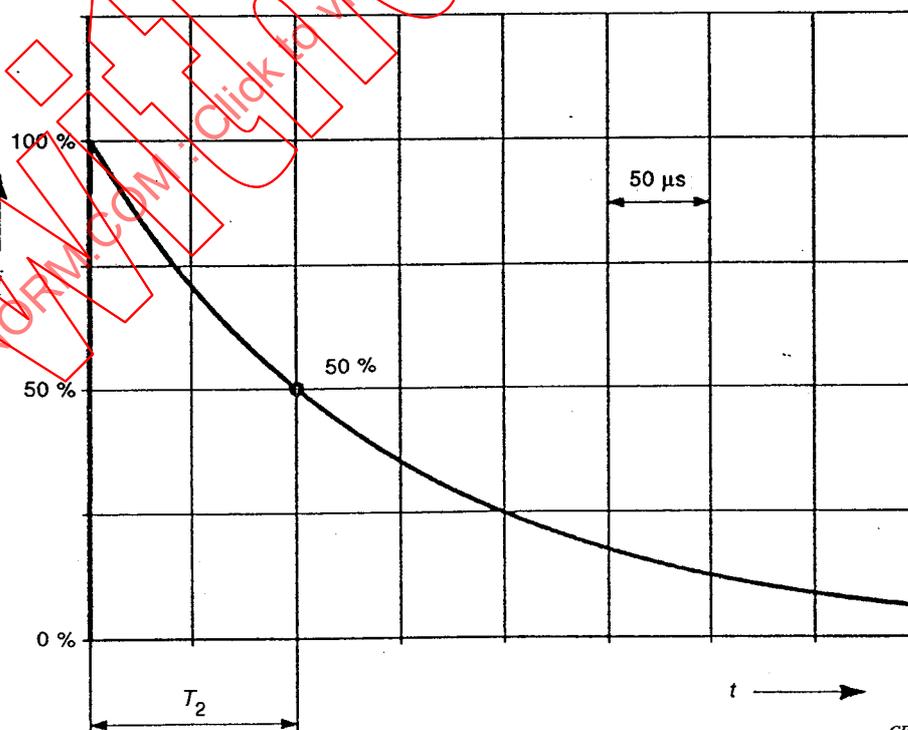


Figure B.2 – Waveform of the current tail of the first stroke



CEI 449/94

Figure B.3 – Forme d'onde de la montée du courant du coup de foudre subséquent



CEI 450/94

Figure B.4 – Forme d'onde de la queue du courant du coup de foudre subséquent

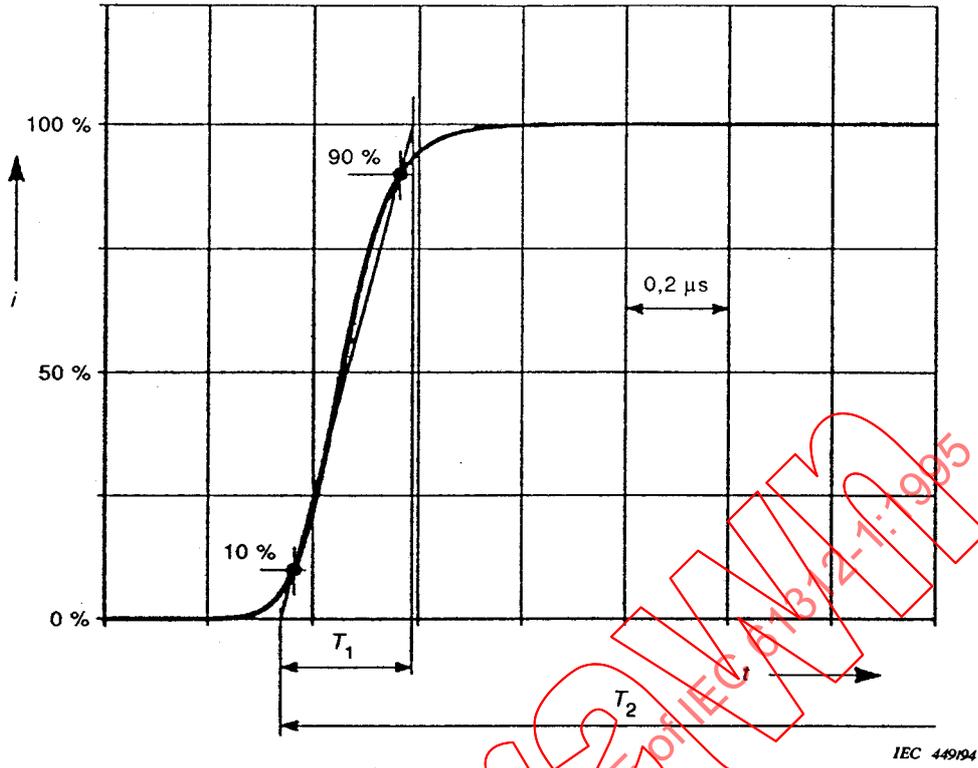


Figure B.3 – Waveform of the current rise of the subsequent stroke

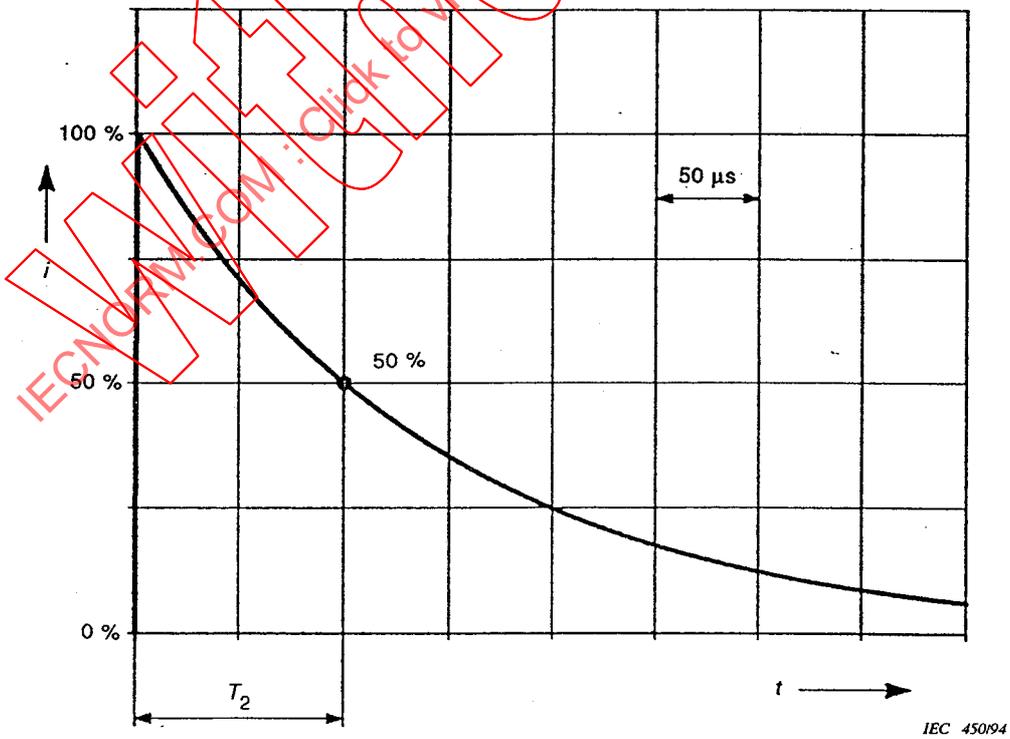
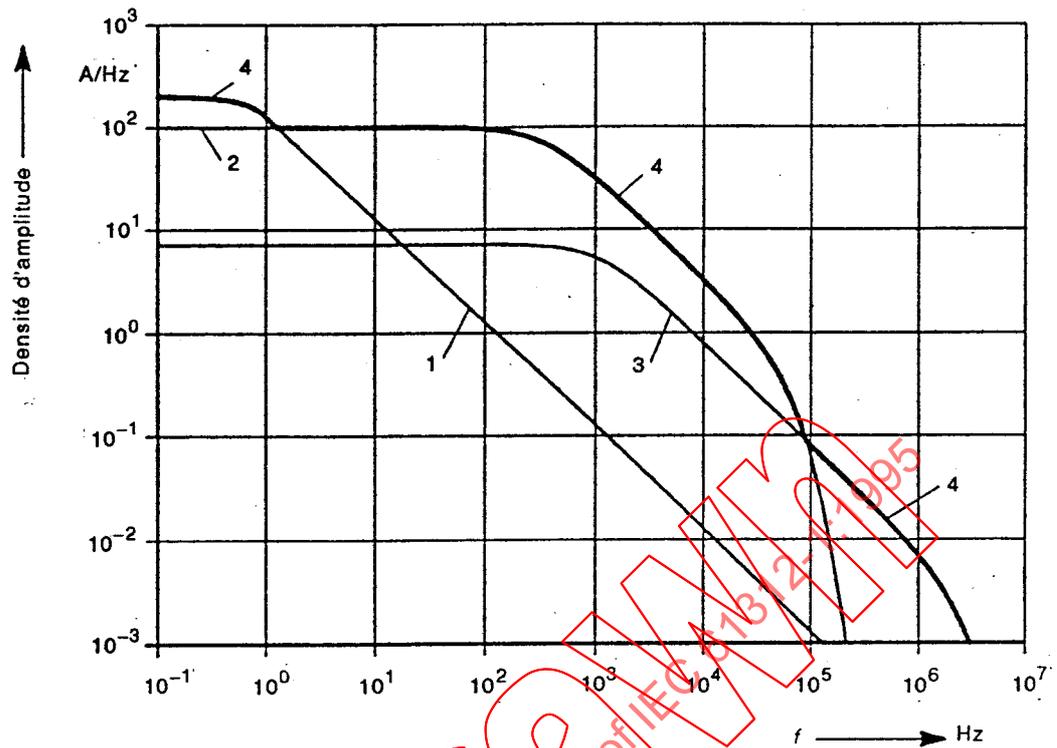


Figure B.4 – Waveform of the current tail of the subsequent stroke



CEI 451194

- | | | |
|------------------------------------|--------|------------------|
| 1 = coup de foudre de longue durée | 400 A | 0,5 s |
| 2 = premier coup de foudre | 200 kA | 10/350 μ s |
| 3 = coup de foudre subséquent | 50 kA | 0,25/100 μ s |
| 4 = enveloppe | | |

Figure B.5 – Densité d'amplitude du courant de décharge atmosphérique retenue pour le niveau de protection I

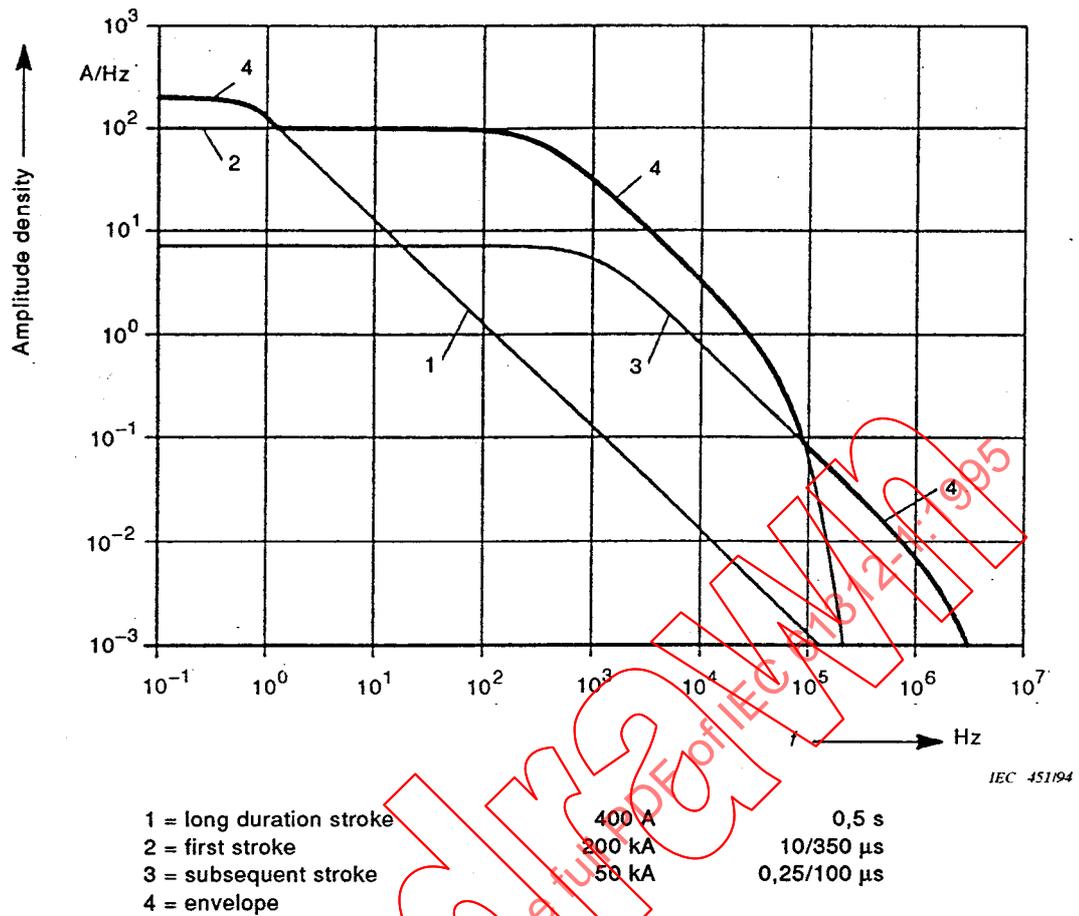


Figure B.5 – Amplitude density of the lightning current according to protection level I

Annexe C (informative)

Simulation du courant de décharge atmosphérique aux fins d'essais

C.1 Simulation de la partie à énergie élevée du courant de décharge atmosphérique

Des paramètres d'essai sont définis (voir tableaux C.1 et C.2) et des générateurs d'essai sont représentés (voir figures C.3 et C.4) qui peuvent être utilisés pour simuler la partie à énergie élevée d'un courant de décharge atmosphérique associé à un coup de foudre direct.

Ces essais ont pour objet d'évaluer l'intégrité mécanique et l'absence d'échauffements indésirables et d'effets de fusion. La simulation est effectuée par un coup de foudre de courte durée et un coup de foudre de longue durée.

La simulation effectuée conformément à cette méthode couvre les paramètres suivants: valeur de crête en courant I , charge des coups de foudre de courte durée Q_s , charge du coup de foudre de longue durée Q_l et énergie spécifique W/R .

Pour les définitions de la forme d'onde du coup de foudre de courte durée, voir figure 1.

Les paramètres d'essai du *coup de foudre de courte durée*, couvrant I , Q_s et W/R sont indiqués au tableau C.1.

Les paramètres I , Q_s et W/R avec leurs tolérances doivent être obtenus pour la même impulsion. Ceci peut être réalisé par un courant décroissant de manière approximativement exponentielle avec T_2 dans la plage des 350 μ s.

Pour les définitions de la forme d'onde du coup de foudre de longue durée, voir la figure 1.

Les paramètres d'essai du *coup de foudre de longue durée*, couvrant Q_l pendant la durée T , sont indiqués au tableau C.2.

NOTE – Si une installation est frappée par la foudre, le courant de décharge atmosphérique est réparti dans l'installation. Lors des essais de différentes entrées et sorties de l'installation, ceci doit être pris en compte en choisissant des paramètres d'essai appropriés pour les divers éléments de l'installation. A cet effet, une analyse de l'installation doit être effectuée.

Un exemple de générateur d'essai est indiqué à la figure C.1.

L'essai doit être effectué avec un coup de foudre de courte durée (paramètres conformes au tableau C.1) et un coup de foudre de longue durée (paramètres conformes au tableau C.2). Le coup de foudre de longue durée peut suivre 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 Simulation of the high-energy portion of the lightning current

Test parameters are defined (see tables C.1, C.2) and testing generators are shown (see figures C.3, C.4), which may be used to simulate the high-energy portion of a lightning current associated with a direct lightning stroke.

These tests are to assess mechanical integrity, and freedom from adverse heating and melting effects. The simulation is done by a short and a long duration stroke.

The simulation conducted in accordance with this method covers the following parameters: Peak current I , charge of the short duration strokes Q_s , charge of the long duration stroke Q_l and specific energy W/R .

For definitions of the waveform of the short duration stroke, see figure 1.

The test parameters of the *short duration stroke*, covering I , Q_s and W/R , are given in table C.1.

The parameters I , Q_s and W/R with their tolerances are to be obtained in the same impulse. This can be achieved by an approximately exponentially decaying current with T_2 in the range of 350 μ s.

For definitions of the waveform of the long duration stroke, see figure 1.

The test parameters of the *long duration stroke*, covering Q_l for the duration T , are given in table C.2.

NOTE – If a system is struck by lightning, the lightning current is distributed within the system. When testing individual inputs and outputs of the system, this must be taken into account by choosing appropriate test parameters for the individual system components. To this end, a system analysis has to be performed.

An example of a test generator is shown in figure C.1.

The test shall be performed with a short duration stroke (parameters as table C.1) and a long duration stroke (parameters as table C.2). The long duration stroke is allowed to follow the short duration stroke immediately. Tests for arc melting should be done with both polarities.

C.2 Simulation de la partie du courant de décharge atmosphérique à temps de montée rapide

La vitesse de montée du courant ainsi que le mécanisme de couplage déterminent les tensions et courants induits magnétiquement dans les boucles situées à proximité des conducteurs écoulant les courants d'éclair et dans les conducteurs eux-mêmes. Le présent article ne traite que de la simulation du courant de décharge atmosphérique.

Des paramètres d'essai sont définis et des générateurs d'essai sont représentés qui peuvent être utilisés pour simuler la partie à temps de montée rapide d'un courant de décharge atmosphérique associé à un coup de foudre direct. La simulation est effectuée pour un premier coup de foudre de courte durée et un coup de foudre subséquent.

La méthode peut être appliquée indépendamment ou combinée avec la méthode décrite à l'article C.1.

La simulation effectuée conformément à cette méthode couvre la vitesse de montée du courant des coups de foudre de courte durée $\Delta i / \Delta t$. La queue du courant est sans conséquence pour ce type de simulation.

Pour les définitions de la forme d'onde du coup de foudre de courte durée, voir la figure C.2.

Le paramètre d'essai est la variation de courant Δi pendant le temps Δt . Il est indiqué dans le tableau C.3.

NOTE – Si une installation est frappée par la foudre, le courant de décharge atmosphérique est réparti dans l'installation. Lors des essais de différentes entrées et sorties de l'installation, ceci doit être pris en compte en choisissant des paramètres d'essai appropriés pour les divers éléments de l'installation. A cet effet, une analyse de l'installation doit être effectuée.

Les figures C.3 et C.4 représentent des exemples de générateurs d'essai.

NOTE – D'autres paramètres, générateurs et procédures aux fins d'essais sont à l'étude.

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

Paramètres	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 %