

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
1024-1**

Première édition
First edition
1990-03

Protection des structures contre la foudre

Première partie:
Principes généraux

Protection of structures against lightning

Part 1:
General principles



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 1024-1: 1990

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
1024-1

Première édition
First edition
1990-03

Protection des structures contre la foudre

Première partie:
Principes généraux

Protection of structures against lightning

Part 1:
General principles

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

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

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

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

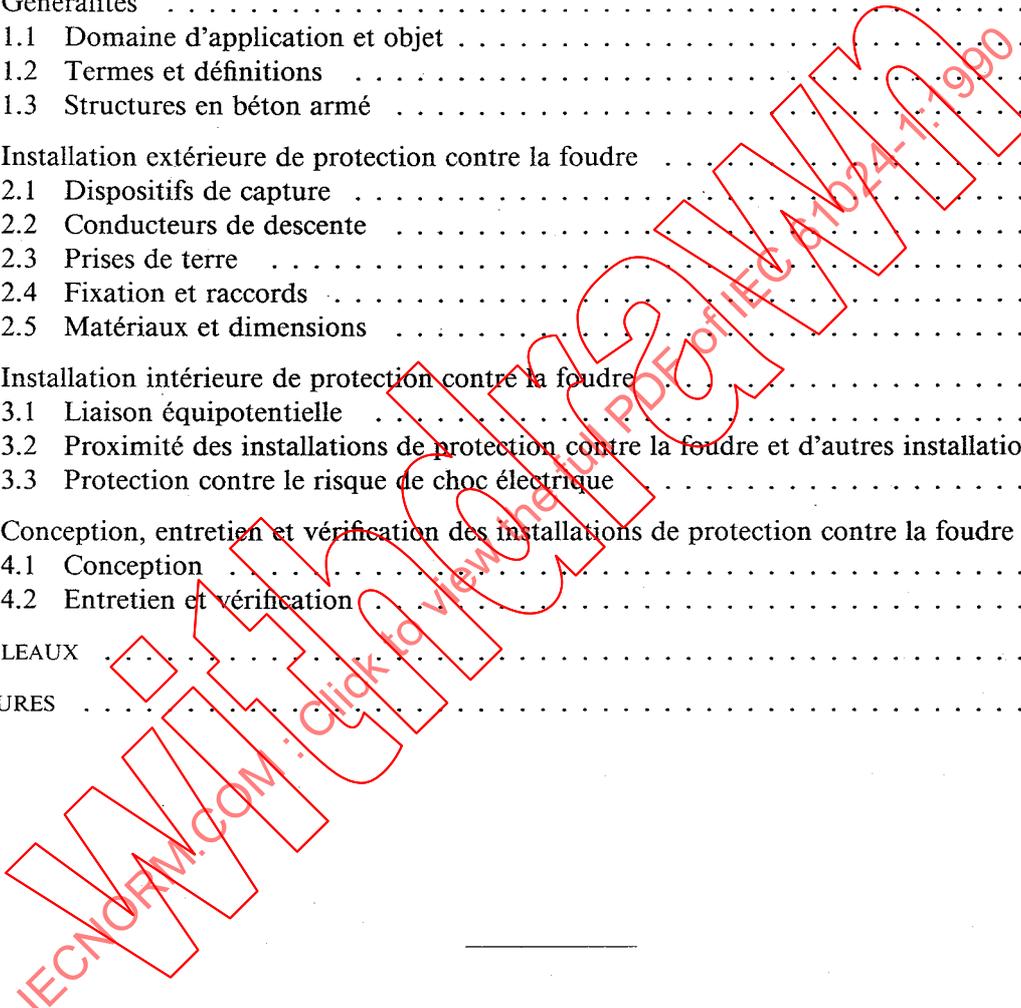
CODE PRIX
PRICE CODE

T

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
INTRODUCTION	6
Articles	
1. Généralités	8
1.1 Domaine d'application et objet	8
1.2 Termes et définitions	8
1.3 Structures en béton armé	14
2. Installation extérieure de protection contre la foudre	14
2.1 Dispositifs de capture	14
2.2 Conducteurs de descente	18
2.3 Prises de terre	22
2.4 Fixation et raccords	26
2.5 Matériaux et dimensions	26
3. Installation intérieure de protection contre la foudre	28
3.1 Liaison équipotentielle	28
3.2 Proximité des installations de protection contre la foudre et d'autres installations	32
3.3 Protection contre le risque de choc électrique	32
4. Conception, entretien et vérification des installations de protection contre la foudre ..	32
4.1 Conception	32
4.2 Entretien et vérification	34
TABLEAUX	36
FIGURES	42



CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
INTRODUCTION	7
Clause	
1. General	9
1.1 Scope and object	9
1.2 Terms and definitions	9
1.3 Reinforced concrete structures	15
2. External lightning protection system (LPS)	15
2.1 Air termination systems	15
2.2 Down-conductor systems	19
2.3 Earth termination systems	23
2.4 Clamping and joints	27
2.5 Materials and dimensions	27
3. Internal lightning protection system	29
3.1 Equipotential bonding	29
3.2 Proximity of installations to LPS	33
3.3 Safeguard against life hazard	33
4. Design, maintenance and inspection of LPS	33
4.1 Design	33
4.2 Maintenance and inspection	35
TABLES	37
FIGURES	43

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 1024-1:1990



COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PROTECTION DES STRUCTURES CONTRE LA Foudre

Première partie: Principes généraux

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

PRÉFACE

La présente norme a été établie par le Comité d'Etudes n° 81 de la CEI: Protection contre la foudre.

Elle constitue la première partie de la série traitant de la protection des bâtiments contre la foudre.

Le texte de la présente norme est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote	Procédure des Deux Mois	Rapports de vote
81(BC)6	81(BC)8	81(BC)9 81(BC)11	81(BC)10 et 10 A 81(BC)12

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

Les publications suivantes de la CEI sont citées dans la présente norme:

Publications n°s 50 (826) (1982): Vocabulaire Electrotechnique International (VEI), Chapitre 826: Installations électriques des bâtiments.

364-4-41 (1982): Installations électriques des bâtiments, Quatrième partie: Protection pour assurer la sécurité – Chapitre 41: Protection contre les chocs électriques.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

PROTECTION OF STRUCTURES AGAINST LIGHTNING**Part 1: General principles**

FOREWORD

- 1) 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.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

This standard has been prepared by IEC Technical Committee 81: Lightning protection.

It forms Part 1 of a series dealing with the protection of structures against lightning.

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

Six Months' Rule	Report on Voting	Two Months' Procedure	Report on Voting
81(CO)6	81(CO)8	81(CO)9 81(CO)11	81(CO)10 and 10A 81(CO)12

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

The following IEC publications are quoted in this standard:

Publications Nos. 50(826) (1982): International Electrotechnical Vocabulary (IEV), Chapter 826: Electrical installations of buildings.

364-4-41 (1982): Electrical installations of buildings, Part 4: Protection for safety – Chapter 41: Protection against electric shock.

PROTECTION DES STRUCTURES CONTRE LA Foudre

Première partie: Principes généraux

INTRODUCTION

Il ne faut pas oublier qu'une installation de protection contre la foudre ne peut empêcher la formation des éclairs.

Une installation de protection contre la foudre, conçue et installée conformément à la présente norme, ne peut assurer la protection absolue des structures, des personnes ou des objets; néanmoins, l'application de la présente norme doit réduire de façon significative les risques de dégâts dus à la foudre sur les structures protégées conformément à cette norme.

Le type et l'emplacement de l'installation de protection contre la foudre doivent être étudiés avec soin dès le stade de la conception d'une nouvelle structure, afin de pouvoir tirer un parti maximal des éléments conducteurs de ce dernier. Cela facilitera l'étude et la réalisation d'une installation intégrée, permettra d'en améliorer l'aspect esthétique, d'accroître l'efficacité de l'installation de protection et d'en minimiser le coût et le travail de réalisation.

L'accès à la terre et une utilisation appropriée des armatures de fondation pour la réalisation d'une prise de terre appropriée risquent de ne plus être possibles après le début des travaux de construction. Il convient que la résistivité et la nature du sol soient prises en compte aussi tôt que possible dès le stade initial du projet. Ces informations sont essentielles pour l'étude des prises de terre, qui peuvent influencer les travaux de conception des fondations effectués par les architectes.

Pour éviter tous travaux inutiles, il est primordial que les concepteurs de l'installation de protection contre la foudre, les architectes et les entrepreneurs se consultent régulièrement.

La présente norme fournit des informations relatives à la réalisation d'installations de protection contre la foudre, destinées aux structures habituelles.

Des normes à publier ultérieurement fourniront des informations complémentaires pour la protection contre la foudre de structures non habituelles, telles que:

- structures très élevées;
- structures avec risque de panique;
- structures avec risque d'incendie ou d'explosion.

D'autres publications traiteront d'aspects particuliers relevant de la protection des équipements électriques et électroniques contre les perturbations dues à la foudre.

En outre, des guides d'application aideront les utilisateurs dans l'évaluation du risque, le choix d'un niveau de protection approprié et la réalisation des installations.

Il y a lieu que la conception, l'installation et les matériaux des installations satisfassent entièrement aux dispositions de la présente norme.

PROTECTION OF STRUCTURES AGAINST LIGHTNING

Part 1: General principles

INTRODUCTION

It should be noted that a lightning protection system cannot prevent the formation of lightning.

A lightning protection system, designed and installed in accordance with this standard, cannot guarantee absolute protection to structures, persons, or objects; however, application of this standard will significantly reduce risk of damage caused by lightning to the structure protected by it.

The type and location of a lightning protection system should be carefully considered at the design stage of a new structure, thereby enabling maximum advantage to be taken of the electrically conductive parts of the structure. Thus design and construction of an integrated installation is made easier, the overall aesthetic aspects can be improved, and the effectiveness of the lightning protection system can be increased at minimum cost and effort.

Access to ground and proper use of foundation steelwork for the purpose of forming an effective earth termination may well be impossible once construction work on a site has commenced. Therefore, soil resistivity and the nature of the earth should be considered at the earliest possible stage of a project. This information is fundamental to the design of an earth termination system which may influence the foundation design work of architects.

To avoid unnecessary work, regular consultation between lightning protection system designers, architects and builders is essential.

This standard provides information on setting up Lightning Protection Systems (LPS) for common structures.

Future standards will provide additional information on lightning protection for non-common structures, such as:

- tall structures;
- structures with risk of panic;
- structures with risk of fire or explosion.

Other publications will cover particular aspects related to protection of electric and electronic equipment against lightning interference.

Moreover, application guides will assist users in the assessment of the risk, in the selection of the appropriate protection level and in the construction of LPSs.

The design, installation and materials of LPS should fully comply with the provisions of this standard.

1. Généralités

1.1 *Domaine d'application et objet*

1.1.1 *Domaine d'application*

La présente norme est applicable à la conception et à la réalisation des installations de protection contre la foudre, destinées aux structures habituelles dont la hauteur n'est pas supérieure à 60 m.

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

- a) chemins de fer;
- b) réseaux de production, transport d'énergie et distribution d'électricité extérieurs à une structure;
- c) installations de télécommunications extérieures à une structure;
- d) véhicules, navires, aéronefs et installations en mer.

Note. – Les installations citées aux points a) à d) sont habituellement soumises à des réglementations spéciales édictées par différentes autorités compétentes.

1.1.2 *Objet*

La présente norme fournit des informations relatives à la conception, la réalisation, la vérification et l'entretien d'installations efficaces de protection contre la foudre des structures définis au paragraphe 1.1.1, ainsi que des personnes, des installations et des objets qu'ils contiennent.

1.2 *Termes et définitions*

Les définitions suivantes sont applicables dans le cadre de la présente norme.

1.2.1 *Foudre ou éclair à la terre*

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

1.2.2 *Coup de foudre*

L'une des décharges électriques lors d'un éclair à la terre.

1.2.3 *Point d'impact*

Point où un coup de foudre frappe la terre, une structure ou une installation de protection contre la foudre.

Note. – Un éclair peut avoir plusieurs points d'impact.

1.2.4 *Espace à protéger*

Espace d'une structure ou d'une zone, pour lequel une protection contre les effets de la foudre, conforme à la présente norme, est envisagée.

1. General

1.1 Scope and object

1.1.1 Scope

This standard is applicable to the design and installation of Lightning Protection Systems (LPS) for common structures up to 60 m high.

The following cases are outside the scope of this standard:

- a) railway systems;
- b) electrical transmission, distribution and generating systems external to a structure;
- c) telecommunication systems external to a structure;
- d) vehicles, ships, aircraft, offshore installations.

Note. – Usually the systems from a) to d) are under special regulations made by various specific authorities.

1.1.2 Object

This standard provides information for the design, installation, inspection and maintenance of an effective system for the protection of structures against lightning as indicated in Sub-clause 1.1.1, as well as for persons, installations and contents in or on them.

1.2 Terms and definitions

For the purpose of this standard, the following definitions apply.

1.2.1 Lightning flash to earth

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

1.2.2 Lightning stroke

A single electrical discharge in a lightning flash to earth.

1.2.3 Point of strike

A point where a lightning stroke contacts the earth, a structure or an LPS.

Note. – A flash may have more than one point of strike.

1.2.4 Space to be protected

The part of a structure or region for which protection against the effects of lightning in accordance with this standard is required.

1.2.5 *Installation de protection contre la foudre*

Installation complète, permettant de protéger une structure contre les effets de la foudre. Elle comprend à la fois une installation extérieure et une installation intérieure de protection contre la foudre.

Note. – Dans des cas particuliers, l'installation de protection contre la foudre peut consister en une installation extérieure ou une installation intérieure seulement.

1.2.6 *Installation extérieure de protection contre la foudre*

Cette installation comprend un dispositif de capture, des conducteurs de descente et une prise de terre.

1.2.7 *Installation intérieure de protection contre la foudre.*

Cette installation comprend tous les dispositifs complémentaires au paragraphe 1.2.6, réduisant les effets électromagnétiques du courant de décharge atmosphérique à l'intérieur de l'espace à protéger.

1.2.8 *Liaison équipotentielle*

Éléments d'une installation intérieure réduisant les différences de potentiel engendrées par le courant de décharge atmosphérique.

1.2.9 *Dispositif de capture*

Partie de l'installation extérieure destinée à intercepter les éclairs.

1.2.10 *Conducteur de descente*

Partie de l'installation extérieure destinée à conduire le courant de décharge atmosphérique du dispositif de capture à la prise de terre.

1.2.11 *Prise de terre*

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

Note. – Dans les sols de résistivité élevée, la prise de terre peut intercepter les courants de foudre s'écoulant dans le sol et provenant d'éclairs à la terre tombés à proximité.

1.2.12 *Electrode de terre*

Élément ou ensemble d'éléments de la prise de terre assurant un contact électrique direct avec la terre et dissipant le courant de décharge atmosphérique dans cette dernière.

1.2.13 *Electrode de terre en boucle*

Electrode de terre constituée d'une électrode formant une boucle fermée autour de la structure, au-dessous ou sur la surface du sol.

1.2.14 *Electrode de terre en fond de fouille*

Electrode de terre noyée dans les fondations en béton de la structure.

1.2.5 *Lightning protection system (LPS)*

The complete system used to protect a space against the effects of lightning. It consists of both external and internal lightning protection systems.

Note. – In particular cases, an LPS may consist of an external LPS or an internal LPS only.

1.2.6 *External lightning protection system*

This system consists of an air-termination system, a down-conductor system and an earth-termination system.

1.2.7 *Internal lightning protection system*

All measures additional to those given in Sub-clause 1.2.6 which would reduce the electromagnetic effects of lightning current within the space to be protected.

1.2.8 *Equipotential bonding (EB)*

That part of an internal LPS which reduces potential differences caused by lightning current.

1.2.9 *Air-termination system*

That part of an external LPS which is intended to intercept lightning flashes.

1.2.10 *Down-conductor*

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

1.2.11 *Earth-termination system*

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

Note. – In high resistivity soils the earth-termination system may intercept lightning currents flowing through the soil due to lightning flashes to the earth in the neighbourhood.

1.2.12 *Earth electrode*

A part or group of parts of the earth-termination system which provides direct electrical contact with and disperses the lightning current to the earth.

1.2.13 *Ring earth electrode*

An earth electrode forming a closed loop around the structure below or on the surface of the earth.

1.2.14 *Foundation earth electrode*

An earth electrode embedded in the concrete foundation of a structure.

1.2.15 *Résistance de terre équivalente*

Rapport entre les valeurs de crête de la tension et du courant dans la prise de terre qui, en général, n'apparaissent pas simultanément; il est utilisé conventionnellement pour caractériser l'efficacité de la prise de terre.

1.2.16 *Potentiel de la prise de terre*

Différence de potentiel entre la prise de terre et la terre.

1.2.17 *Composant «naturel» de l'installation de protection contre la foudre*

Composant assurant une fonction de protection contre la foudre, mais non installé spécifiquement à cet effet.

Note. – Des exemples d'utilisation de ce terme sont:

- capteur «naturel»;
- descente «naturelle»;
- électrode de terre «naturelle».

1.2.18 *Equipements métalliques*

Éléments métalliques répartis dans l'espace à protéger, pouvant écouler une partie du courant de décharge atmosphérique tels que canalisations, escaliers, guides d'ascenseur, conduits de ventilation, de chauffage et d'air conditionné, armatures d'acier interconnectées.

1.2.19 *Barre d'équipotentialité*

Barre permettant de relier à l'installation de protection contre la foudre les équipements métalliques, les masses, les lignes électriques et de télécommunication et d'autres câbles.

1.2.20 *Conducteur d'équipotentialité*

Conducteur permettant d'assurer l'équipotentialité.

1.2.21 *Armatures d'acier interconnectées*

Armatures d'acier à l'intérieur d'une structure, considérées comme assurant une continuité électrique.

1.2.22 *Étincelle dangereuse*

Décharge électrique inadmissible, provoquée par le courant de décharge atmosphérique à l'intérieur du volume à protéger.

1.2.23 *Distance de sécurité*

Distance minimale entre deux éléments conducteurs à l'intérieur de l'espace à protéger, telle qu'aucune étincelle dangereuse ne puisse se produire entre eux.

1.2.24 *Parasurtension*

Dispositif destiné à limiter les surtensions entre deux éléments à l'intérieur de l'espace à protéger, tels qu'éclateurs, parafoudres ou dispositifs à semiconducteurs.

1.2.15 *Equivalent earth resistance*

The ratio of the peak values of the earth-termination voltage and the earth-termination current which, in general, do not occur simultaneously. It is used conventionally to indicate the efficiency of the earth-termination system.

1.2.16 *Earth-termination voltage*

The potential difference between an earth-termination system and the earth.

1.2.17 *“Natural” component of an LPS*

A component which performs a lightning protection function but is not installed specifically for that purpose.

Note. – Some examples of the use of this term are as follows:

- “natural” air-termination;
- “natural” down-conductor;
- “natural” earth electrode.

1.2.18 *Metal installations*

Extended metal items in the space to be protected which may form a path for lightning current, such as pipe-work, staircases, elevator guide rails, ventilation, heating and air conditioning ducts, and interconnected reinforcing steel.

1.2.19 *Bonding bar*

A bar on which metal installations, extraneous conductive parts, electrical power and telecommunication lines, and other cables can be bonded to an LPS.

1.2.20 *Bonding conductor*

Conductor for equalization of potentials.

1.2.21 *Interconnected reinforcing steel*

Steelwork within a structure which is considered to be electrically continuous.

1.2.22 *Dangerous sparking*

An unacceptable electrical discharge caused by lightning current inside the space to be protected.

1.2.23 *Safety distance*

The minimum distance between two conductive parts within the space to be protected between which no dangerous sparking can occur.

1.2.24 *Surge suppressor*

A device designed to limit the surge voltage between two parts within the space to be protected, such as spark gap, surge diverter or semiconductor device.

1.2.25 *Borne d'essai*

Dispositif conçu et placé de manière à faciliter les essais et mesures électriques des éléments de l'installation de protection contre la foudre.

1.2.26 *Installation extérieure isolée du volume à protéger*

Installation dont le dispositif de capture et les descentes sont placés de manière que le trajet du courant de décharge atmosphérique n'ait aucun contact avec l'espace à protéger.

1.2.27 *Installation extérieure non isolée du volume à protéger*

Installation dont le dispositif de capture et les descentes sont placés de manière que le trajet du courant de décharge atmosphérique soit en contact avec l'espace à protéger.

1.2.28 *Structures habituelles*

Structures utilisées à des fins commerciales, industrielles, agricoles, administratives ou résidentielles.

1.2.29 *Niveau de protection*

Terme de classification d'une installation de protection contre la foudre exprimant son efficacité.

Note. - Ce terme exprime la probabilité avec laquelle une installation protège un espace contre la foudre.

1.3 *Structures en béton armé*

Les armatures métalliques des structures en béton armé sont considérées comme assurant une continuité électrique lorsqu'elles satisfont aux conditions suivantes:

- a) environ 50% des interconnexions de barres verticales et horizontales sont soudées ou solidement liées;
- b) les barres verticales sont soudées ou se chevauchent sur 20 fois leur diamètre au moins et sont solidement réunies;
- c) la continuité électrique est assurée entre les armatures d'acier des différents éléments préfabriqués en béton et celles des éléments en béton préfabriqués voisins.

2. **Installation extérieure de protection contre la foudre**

2.1 *Dispositifs de capture*

2.1.1 *Généralités*

La probabilité de pénétration d'un coup de foudre dans l'espace à protéger est considérablement réduite par la présence d'un dispositif de capture convenablement conçu.

Les dispositifs de capture peuvent être constitués par une combinaison quelconque des composants suivants:

- 1) tiges;
- 2) fils tendus;
- 3) conducteurs maillés.

1.2.25 *Test joint*

A joint which is designed and situated to facilitate electrical testing and measurement of LPS components.

1.2.26 *External LPS isolated from the space to be protected*

An LPS whose air-termination system and down-conductor system are positioned in such a way that the path of the lightning current has no contact with the space to be protected.

1.2.27 *External LPS not isolated from the space to be protected*

An LPS whose air-termination system and down-conductor system are positioned in such a way that the path of the lightning current can be in contact with the space to be protected.

1.2.28 *Common structures*

Common structures are structures used for ordinary purposes whether commercial, industrial, farm, institutional or residential.

1.2.29 *Protection level*

A term denoting the classification of an LPS according to its efficiency.

Note. – It expresses the probability with which an LPS protects a space against the effects of lightning.

1.3 *Reinforced concrete structures*

Steelwork within reinforced concrete structures is considered to be electrically continuous provided that it fulfils the following conditions:

- a) approximately 50% of interconnections of vertical and horizontal bars are welded or are securely tied;
- b) vertical bars are welded or are overlapped a minimum of 20 times their diameters and securely tied;
- c) electrical continuity of the reinforcing steel is established between individual precast concrete units and other adjacent precast concrete units.

2. **External lightning protection system (LPS)**

2.1 *Air-termination systems*

2.1.1 *General*

The probability of a lightning stroke penetrating the space to be protected is considerably decreased by the presence of a properly designed air-termination system.

The air-termination systems can be composed of any combination of the following elements:

- 1) rods;
- 2) stretched wires;
- 3) meshed conductors.

2.1.2 Positionnement

Un dispositif de capture est correctement mis en place s'il satisfait aux prescriptions du tableau 1. Pour l'étude du dispositif de capture, les méthodes suivantes peuvent être utilisées, séparément ou combinées d'une manière quelconque:

- a) angle de protection;
- b) sphère fictive;
- c) maillage.

Note. – Les informations sur ces méthodes de conception et sur les relations existant entre le positionnement des dispositifs de capture et les niveaux de protection seront données dans le Guide B, traitant de la construction des systèmes de protection contre la foudre, qui fera l'objet d'une future publication de la CEI.

2.1.3 Construction

Pour une installation isolée, la distance entre le dispositif de capture et l'équipement métallique de l'espace à protéger doit être supérieure à la distance de sécurité définie au paragraphe 3.2.

Pour une installation non isolée de l'espace à protéger, le dispositif de capture peut être installé directement sur le toit ou à une faible distance, à condition que le courant de décharge atmosphérique ne provoque aucun dommage.

Pour la détermination de l'espace protégé contre les coups de foudre, on ne prendra en considération que les dimensions réelles du dispositif de capture.

2.1.4 Composants « naturels »

Les parties suivantes de structures peuvent être considérées comme dispositifs de capture « naturels »:

- a) les tôles métalliques recouvrant l'espace à protéger, sous réserve que:
 - la continuité électrique entre les différentes parties soit réalisée de façon durable;
 - l'épaisseur des tôles métalliques ne soit pas inférieure à la valeur t figurant dans le tableau 2, s'il s'avère nécessaire de les protéger contre les perforations ou s'il existe des problèmes de points chauds;
 - l'épaisseur des tôles métalliques ne soit pas inférieure à 0,5 mm, s'il n'est pas essentiel de les protéger contre les perforations et s'il n'y a pas de risque d'inflammation de matériaux combustibles situés au-dessous;
 - elles ne soient pas revêtues de matériau isolant;
 - les matériaux non métalliques sur ou au-dessus des tôles métalliques soient exclus de l'espace à protéger;
- b) les éléments métalliques de construction du toit (fermes, armatures d'acier interconnectées, etc.) recouverts de matériaux non métalliques, à condition que ces derniers puissent être exclus de l'espace à protéger;
- c) les pièces métalliques du type gouttières, décorations, rambardes, etc., dont la section n'est pas inférieure à celle qui est spécifiée pour les composants normaux du dispositif de capture;
- d) les tuyaux et réservoirs métalliques, s'ils sont réalisés en un matériau d'au moins 2,5 mm d'épaisseur et si leur perforation n'entraîne pas de situation dangereuse ou inacceptable;

2.1.2 Positioning

The arrangement of the air-termination system is adequate if the requirements of Table 1 have been fulfilled. In designing the air-termination system, the following methods can be used independently or in any combination:

- a) protective angle;
- b) rolling sphere;
- c) mesh size.

Note. – Further information on the methods and the relationship between air-termination positioning and protection levels will be given in Guide B, a future IEC publication dealing with the construction of lightning protection systems.

2.1.3 Construction

For isolated LPS the distance between the air-termination system and any metal installation within the space to be protected shall be greater than the safety distance according to Sub-clause 3.2.

In the case of an LPS not isolated from the space to be protected, the air-termination system may be installed directly on the roof or with small spacing, providing that damage will not be caused by the effect of the lightning current.

For the determination of the volume protected against a lightning stroke, only the real dimensions of the metal air-termination system shall be considered.

2.1.4 "Natural" components

The following parts of a structure may be considered as "natural" air-termination components:

- a) metal sheets covering the space to be protected providing that:
 - the electrical continuity between the various parts is made durable;
 - the thickness of the metal sheet is not less than the value t given in Table 2 if it is necessary to take precautions against puncture or to consider hot spot problems;
 - the thickness of the metal sheet is not less than 0.5 mm if it is not important to prevent puncture of the sheeting or to consider ignition of any combustible materials underneath;
 - they are not clad in insulating material;
 - non-metallic materials on or above the metal sheet can be excluded from the space to be protected;
- b) metal components of roof construction (trusses, interconnected reinforcing steel, etc.), underneath non-metallic roofing, providing that this latter part can be excluded from the space to be protected;
- c) metal parts such as gutters, ornamentations, railings, etc., whose cross-section is not less than that specified for standard air-termination components;
- d) metal pipes and tanks, providing that they are constructed of material not less than 2.5 mm thick, and that a dangerous or otherwise unacceptable situation will not be created if they become punctured;

- e) les tuyaux et réservoirs métalliques en général, s'ils sont réalisés en un matériau d'épaisseur non inférieure à la valeur appropriée de t figurant dans le tableau 2, et si l'élévation de température de la surface intérieure au point d'impact ne constitue pas un danger.

Notes 1. – Une légère couche de peinture protectrice ou de 0,5 mm d'asphalte ou de 1 mm de PVC n'est pas considérée comme une isolation.

2. – L'utilisation des canalisations comme composants du dispositif de capture est limitée dans certains cas (à l'étude).

2.2 Conducteurs de descente

2.2.1 Généralités

Pour réduire les risques d'apparition d'étincelles dangereuses, des conducteurs de descente doivent être disposés de manière que, entre le point d'impact et la terre:

- a) le courant suive plusieurs trajets en parallèle;
b) la longueur de ces trajets soit réduite au minimum.

Les descentes doivent être disposées de manière qu'elles constituent, autant que possible, la prolongation directe des conducteurs du dispositif de capture.

2.2.2 Dispositions pour les installations isolées

Si le dispositif de capture est constitué de tiges sur des mâts séparés (ou un seul mât), au moins une descente est nécessaire par mât. Si les mâts sont en métal ou s'il existe une armature d'acier interconnectée, aucune descente supplémentaire n'est nécessaire.

Si le dispositif de capture est constitué de conducteurs horizontaux séparés (ou d'un seul conducteur), au moins une descente est nécessaire à l'extrémité de chacun des conducteurs.

Si le dispositif de capture constitue un réseau de conducteurs, au moins une descente est nécessaire pour chaque structure porteuse.

2.2.3 Dispositions pour les installations non isolées

Les descentes sont réparties sur le périmètre de l'espace à protéger, de manière que la distance moyenne entre elles ne soit pas supérieure aux valeurs figurant dans le tableau 3. Au moins deux descentes sont nécessaires dans tous les cas.

Notes 1. – Les distances moyennes entre les descentes sont liées à la distance de sécurité du paragraphe 3.2. Si elles sont supérieures à celles spécifiées dans le tableau 3, il convient que les distances de sécurité soient convenablement augmentées.

2. – Les descentes sont, de préférence, réparties régulièrement tout autour du périmètre. Les descentes sont, dans la mesure du possible, situées à proximité des différents angles de la structure.

Les descentes doivent être interconnectées à l'aide de ceinturages par des conducteurs horizontaux, à proximité du niveau du sol, et, en hauteur, tous les 20 m.

2.2.4 Construction

Pour les installations isolées, la distance entre les conducteurs de descente et l'équipement métallique de l'espace à protéger doit être supérieure à la distance de sécurité spécifiée au paragraphe 3.2.

Des descentes non isolées de l'espace à protéger peuvent être installées de la manière suivante:

- e) metal pipes and tanks in general, providing that they are constructed of material whose thickness is not less than the appropriate value of t given in Table 2 and that the temperature rise of the inner surface at the point of strike does not constitute a danger.

Notes 1. – A light coating of protective paint or 0.5 mm asphalt or 1 mm PVC is not regarded as an insulator.

2. – Use of piping as air-termination components is restricted in special cases (under consideration).

2.2 Down-conductor systems

2.2.1 General

In order to reduce the possibility of occurrence of dangerous sparking, the down-conductors are to be arranged in such a way that from point of strike to earth:

- a) several parallel current paths exist;
b) the length of the current paths is kept to a minimum.

The down-conductors shall be so arranged that they become, as far as possible, the direct continuation of the air-termination conductors.

2.2.2 Positioning for isolated LPS

If the air-termination consists of rods on separate masts (or one mast), at least one down-conductor is needed for each mast. In the case of masts made of metal or interconnected reinforcing steel, no additional down-conductor is necessary.

If the air-termination consists of separate horizontal conductors (or one conductor), at least one down-conductor is needed at each conductor end.

If the air-termination forms a network of conductors, at least one down-conductor is needed for each supporting structure.

2.2.3 Positioning for not-isolated LPS

Down-conductors are distributed around the perimeter of the space to be protected in such a way that the average value of the distance between them is not more than the values indicated in Table 3. At least two down-conductors are necessary in all cases.

Notes 1. – The average value of the distance between down-conductors is correlated with the safety distance in Sub-clause 3.2. If these values are greater than those specified in Table 3, the safety distances should be considerably increased.

2. – An equal spacing of the down-conductors is preferred around the perimeter. A down-conductor should be near to each corner of the structure where this is possible.

Down-conductors shall be interconnected by means of horizontal ring conductors near ground level and by further rings at 20 m intervals vertically.

2.2.4 Construction

For isolated LPS, the distance between the down-conductor system and the metal installations of the space to be protected shall be greater than the safety distance according to Sub-clause 3.2.

Down-conductors of LPS not isolated from the space to be protected may be installed as follows:

- si le mur est réalisé en matériau non combustible, les descentes peuvent être fixées directement sur la surface du mur ou dans le mur;
- si le mur est réalisé en matériau inflammable, les descentes peuvent être fixées directement sur la surface des murs, pour autant que l'élévation de température due à l'écoulement du courant de décharge atmosphérique ne soit pas dangereuse pour le matériau du mur;
- si le mur est réalisé en un matériau inflammable et si l'élévation de température des descentes est dangereuse, les descentes doivent être placées de manière que la distance entre ces dernières et l'espace à protéger soit toujours supérieure à 0,1 m. Des crochets de fixation métalliques peuvent être en contact avec le mur.

Note. - Il convient de ne pas installer de descente dans les gouttières ou tuyaux de descente, même s'ils sont recouverts de matériau isolant. Les effets de l'humidité dans les gouttières provoquent une forte corrosion de la descente. Il est conseillé de placer les descentes de manière à ménager un espace entre celles-ci et les portes ou fenêtres.

Les descentes doivent être installées de façon rectiligne et verticale, en suivant le trajet le plus court et le plus direct possible à la terre. La formation de boucles doit être évitée. Si cela s'avère impossible, la distance s mesurée directement entre deux points du conducteur et la longueur l de conducteur entre ces deux points doivent être conformes aux prescriptions du paragraphe 3.2 (voir figure 1).

2.2.5 Composants «naturels»

Les éléments suivants de la structure peuvent être considérés comme des descentes «naturelles»:

- a) les équipements métalliques, à condition que:
 - la continuité électrique entre les différents éléments soit réalisée de façon durable, conformément aux prescriptions du paragraphe 2.4.2;
 - leurs dimensions soient au moins égales à celles qui sont spécifiées pour les descentes normales;

Notes 1. - Les équipements métalliques peuvent être revêtus de matériau isolant.

2. - L'utilisation de canalisations comme descentes est limitée à certains cas (à l'étude).

- b) l'ossature métallique de la structure;
- c) les armatures d'acier interconnectées de la structure;

Note. - S'il s'agit de béton précontraint, il convient de veiller au risque d'effets mécaniques inadmissibles, dus pour une part aux courants de décharge atmosphérique, et d'autre part au raccordement à l'installation de protection contre la foudre.

- d) les éléments de façade, profilés et supports des façades métalliques, à condition que:
 - leurs dimensions soient conformes aux prescriptions relatives aux descentes et que leur épaisseur ne soit pas inférieure à 0,5 mm;
 - leur continuité électrique dans le sens vertical soit conforme aux prescriptions du paragraphe 2.4.2 ou que l'espacement des pièces métalliques ne soit pas supérieur à 1 mm et le chevauchement de deux éléments soit d'au moins 100 cm².

Il n'est pas nécessaire d'installer des ceintures horizontales si l'armature métallique des structures en acier ou les armatures métalliques du béton armé sont utilisées comme descentes.

- if the wall is made of non-combustible material the down-conductors may be positioned on the surface or in the wall;
- if the wall is made of flammable material, the down-conductors can be positioned on the surface of the walls, provided that their temperature rise due to the passage of lightning current is not dangerous for the material of the wall;
- if the wall is made of flammable material and the temperature rise of down-conductors is dangerous, the down-conductors shall be placed in such a way that the distance between them and the space to be protected is always greater than 0.1 m. Mounting brackets made of metal may be in contact with the wall.

Note. - Down-conductors should not be installed in gutters or down-spouts even if they are covered by insulating material. The effects of moisture in the gutters lead to intensive corrosion of the down-conductor. It is recommended that the down-conductors be positioned such that a spacing be provided between them and any doors or windows.

Down-conductors shall be installed straight and vertical such that they provide the shortest, most direct path to earth. The formation of loops shall be avoided. Where this is not possible, the distance s , measured across the gap between two points on the conductor and the length l of the conductor between those points shall comply with Sub-clause 3.2 (see Figure 1).

2.2.5 "Natural" components

The following parts of the structure may be considered "natural" down-conductors:

- a) Metal installations provided that:
 - the electrical continuity between the various parts is made durable according to the requirements of Sub-clause 2.4.2;
 - their dimensions are at least equal to that specified for standard down-conductors;

Notes 1. - The metal installations may be clad in insulating material.

2. - The use of pipes as down-conductors is restricted in special cases (under consideration).

- b) the metal framework of the structure;
- c) the interconnected steel of the structure;

Note. - In the case of prestressed concrete, attention should be paid to the risk of inadmissible mechanical influences, partly due to lightning current, partly as a consequence of the connection to the lightning protection system.

- d) facade elements, profiled rails and sub-constructions of metal facades provided that:
 - their dimensions comply with the requirements for down-conductors and their thickness is not less than 0.5 mm;
 - their electrical continuity in a vertical direction complies with the requirements of Sub-clause 2.4.2 or the distance between the metal parts does not exceed 1 mm and the overlap between two elements is at least 100 cm².

The horizontal ring conductors are not necessary if the metal frame-work of steel structures or the interconnected reinforcing steel of the structure is used as the down-conductors.

2.2.6 *Borne d'essai*

Il y a lieu d'équiper chaque descente à l'exception des descentes «naturelles» d'une borne d'essai au point de raccordement à la prise de terre.

Cette borne devrait être démontable à l'aide d'un outil, pour des besoins de mesures, mais doit rester fermée en utilisation normale.

2.3 *Prises de terre*

2.3.1 *Généralités*

Afin d'assurer l'écoulement du courant de foudre dans la terre sans provoquer de surtensions dangereuses, la forme et les dimensions des prises de terre importent davantage qu'une valeur de résistance particulière d'une électrode de terre. Néanmoins, une faible résistance est recommandée en général.

Du point de vue de la protection contre la foudre, une prise de terre unique et intégrée à la structure constitue la meilleure solution et assure une protection complète (c'est-à-dire protection contre la foudre, protection des installations électriques à basse tension et des installations de télécommunication).

Si de telles prises de terre doivent être séparées pour d'autres raisons, elles devraient être raccordées à l'ensemble intégré par des liaisons équipotentielles, conformément au paragraphe 3.1.

Notes 1. – Les conditions de séparation et de liaison d'autres prises de terre sont habituellement définies par les services nationaux compétents.

2. – De sérieux problèmes de corrosion peuvent apparaître si des prises de terre faisant usage de matériaux différents sont connectées entre elles.

2.3.2 *Electrodes de terre*

Les types suivants d'électrodes de terre doivent être utilisés: une ou plusieurs électrodes en boucle, des électrodes verticales (ou inclinées), des électrodes radiales ou une électrode de terre en fond de fouille.

Des plaques ou de petites grilles de terre peuvent être utilisées facultativement mais doivent être évitées dans toute la mesure possible, en raison des inconvénients dus à une corrosion éventuelle, en particulier au niveau des raccords.

Plusieurs conducteurs correctement répartis sont utilisés de préférence à un seul conducteur de terre de grande longueur. La figure 2 indique les longueurs minimales d'électrodes de terre correspondant aux divers niveaux de protection pour différentes résistivités de sol.

Des électrodes de terre profondément enfoncées s'avèrent cependant efficaces si la résistivité du sol diminue en fonction de la profondeur et si le sous-sol a une faible résistivité à des profondeurs supérieures à celles auxquelles les piquets sont habituellement enfoncés.

2.3.3 *Prise de terre dans les conditions habituelles*

Deux dispositions de prise de terre sont utilisées.

2.3.3.1 *Disposition A*

Ce type de disposition comporte des électrodes de terre radiales ou verticales. Chacune des descentes doit être raccordée à au moins une électrode de terre distincte, constituée par un conducteur radial ou vertical (ou incliné).

2.2.6 Test joint

At the connection of the earth-termination a test joint should be fitted on each down-conductor, except in the case of "natural" down-conductors.

The joint should be capable of being opened with the aid of a tool for measuring purposes, but normally it should be closed.

2.3 Earth-termination systems

2.3.1 General

In order to disperse the lightning current into the earth without causing dangerous overvoltages, the shape and dimensions of the earth-termination system are more important than a specific value of the resistance of the earth electrode. However, in general, a low earth resistance is recommended.

From the viewpoint of lightning protection, a single integrated structure earth-termination system is preferable and is suitable for all purposes (i.e. lightning protection, low-voltage power systems, telecommunication systems).

Earth-termination systems which must be separated for other reasons should be connected to the integrated one by equipotential bonding in accordance with Sub-clause 3.1.

Notes 1. – The conditions of separation and bonding of other earth-termination systems are normally determined by the appropriate national authorities.

2. – Serious corrosion problems can occur when earthing systems utilizing different materials are connected to each other.

2.3.2 Earth electrodes

The following types of earth electrodes shall be used: one or more ring electrodes, vertical (or inclined) electrodes, radial electrodes, or a foundation earth electrode.

Plates and small earth lattice mats (mesh) are optional but shall be avoided when possible due to the possibility of corrosion, especially at the joints.

A number of properly distributed conductors is preferred to a single long earth conductor. The minimum lengths of earth electrodes corresponding to protection levels are given for various soil resistivities in Figure 2.

Deep-driven earth electrodes are, however, effective where the soil resistivity decreases with depth and where sub-strata of low resistivity occur at depths greater than those to which rod electrodes are normally driven.

2.3.3 Earthing arrangements in general conditions

For earth-termination systems, two basic types of earth electrode arrangements apply.

2.3.3.1 Type A arrangement

This type of arrangement is composed of radial or vertical earth electrodes. Each down-conductor shall be connected to at least one separate earth electrode composed of either a radiating or vertical (or inclined) electrode.

Le nombre minimal d'électrodes de terre doit être deux.

La longueur minimale de chaque électrode est égale à :

l_1 s'il s'agit de conducteurs radiaux horizontaux ou

$0,5 l_1$ s'il s'agit de conducteurs verticaux (ou inclinés),

l_1 étant la longueur minimale du conducteur radial représenté sur la partie correspondante de la figure 2.

Avec ce type d'électrodes de terre, des mesures spéciales sont à prendre si la surface entraîne un risque pour des personnes ou des animaux.

En cas de sols de faible résistivité, il peut ne pas être tenu compte des longueurs minimales indiquées sur la figure 2, si une résistance de terre, dont la valeur est inférieure à 10Ω , peut être obtenue.

Notes 1. - En cas d'électrodes combinées, il convient de prendre en compte la longueur totale.

2. - La disposition A convient pour des sols de faible résistivité et pour de petites structures.

2.3.3.2 Disposition B

Avec une électrode de terre en boucle (ou une électrode de terre à fond de fouille), le rayon géométrique moyen r de la surface intéressée par l'électrode de terre ne doit pas être inférieur à la valeur de l_1 :

$$r \geq l_1$$

l_1 étant représentée sur la figure 2 en fonction, respectivement, des niveaux de protection I et II à IV.

Lorsque la valeur prescrite de l_1 est supérieure à la valeur appropriée de r , des conducteurs radiaux ou verticaux (ou inclinés) supplémentaires doivent être ajoutés; les longueurs l_r (horizontale) et l_v (verticale) sont obtenues à l'aide des formules suivantes:

$$l_r = l_1 - r$$

et

$$l_v = \frac{l_1 - r}{2}$$

2.3.4 Prises de terre dans des conditions particulières

Si une liaison équipotentielle s'impose selon l'article 3, sans exiger d'installation extérieure, un conducteur horizontal de l_1 de longueur ou un conducteur vertical (ou incliné) de longueur $0,5 l_1$ peut être utilisé comme électrode de terre.

L'électrode de terre de l'installation électrique à basse tension peut être utilisée à cette fin si la longueur totale des électrodes de terre n'est pas inférieure à l_1 en cas de conducteurs horizontaux, ou à $0,5 l_1$ en cas de conducteurs verticaux (ou inclinés).

Note. - Des informations sur les prises de terre lorsque aucune installation extérieure n'est exigée sont fournies dans le futur guide d'application de la CEI.

2.3.5 Installation des électrodes de terre

L'électrode de terre extérieure en boucle est de préférence enterrée à au moins 0,5 m de profondeur et à au moins 1 m des murs.

The minimum number of earth electrodes shall be two.

The minimum length of each electrode is:

l_1 for radial horizontal electrodes or

$0.5 l_1$ for vertical (or inclined) electrodes,

l_1 being the minimum length of radial electrodes shown in the relevant part of Figure 2.

For this type of earth electrode, special measures shall be taken if the area involves danger to persons or animals.

In low resistivity soils, the minimum lengths stated in Figure 2 may be disregarded provided that an earth resistance of less than 10Ω is achieved.

Notes 1. – For combined electrodes the total length should be considered.

2. – Type A arrangement is suitable for low soil resistivity and for small structures.

2.3.3.2 Type B arrangement

For the ring earth electrode (or foundation earth electrode), the mean radius r of the area enclosed by the ring earth electrode (or foundation earth electrode) shall be not less than the value l_1 :

$$r \geq l_1$$

l_1 being represented in Figure 2 according to the protection levels I and II to IV, respectively.

When the required value of l_1 is larger than the convenient value of r , additional radial or vertical (or inclined) electrodes shall be added whose individual lengths l_r (horizontal) and l_v (vertical) are given by:

$$l_r = l_1 - r$$

and

$$l_v = \frac{l_1 - r}{2}$$

2.3.4 Earthing arrangements in particular conditions

When equipotential bonding in accordance with Clause 3 is required but an external LPS is not required, a horizontal electrode of length l_1 or a vertical (or inclined) electrode of length $0.5 l_1$ can be used as earth-termination.

The earth-termination of the low-voltage electrical installation can be used for this purpose provided that the overall length of the earth electrodes is not less than l_1 for horizontal or $0.5 l_1$ for vertical (or inclined) electrodes.

Note. – The future IEC application guide will provide information on the conditions where an external LPS is not required.

2.3.5 Installation of earth electrodes

The external ring earth electrode should preferably be buried at a depth of at least 0.5 m but not closer than 1 m to the walls.

Les électrodes de terre doivent être installées à l'extérieur de l'espace à protéger et réparties aussi uniformément que possible, à au moins 0,5 m de profondeur et en les espaçant de manière à réduire au minimum les effets de couplage électrique dans le sol.

Les électrodes de terre doivent être installées de façon à permettre une inspection pendant la construction.

La profondeur d'enfouissement et le type des électrodes de terre doivent minimiser les effets de la corrosion, de l'assèchement et du gel du sol pour stabiliser la valeur de la résistance de terre équivalente. Il est conseillé de ne pas tenir pour efficace le premier mètre d'une électrode de terre verticale en cas de gel. Dans la roche vive nue, il est conseillé de n'utiliser que la disposition B.

2.3.6 *Electrodes de terre naturelles*

Peuvent être utilisées comme électrodes de terre les armatures d'acier interconnectées du béton ou d'autres structures métalliques souterraines, présentant des caractéristiques conformes aux prescriptions du paragraphe 2.5. Si l'armature métallique du béton est utilisée comme électrode de terre, un soin particulier doit être apporté aux interconnexions, pour éviter un éclatement mécanique du béton.

Note. – S'il s'agit de béton précontraint, il convient de prendre en considération les conséquences du passage du courant de foudre qui peut produire des contraintes mécaniques inadmissibles.

2.4 *Fixation et raccords*

2.4.1 *Fixation*

Les éléments capteurs et les descentes doivent être solidement fixés, de manière à empêcher toute rupture ou tout desserrage des conducteurs, du fait des forces électrodynamiques ou efforts mécaniques accidentels (par exemple, secousses, glissement de plaques de neige, etc.).

Note. – L'évaluation des dimensions des fixations est à l'étude.

2.4.2 *Raccords*

Le nombre des raccords d'un conducteur doit être réduit au minimum. Les raccords doivent être fixés par brasage, soudage, sertissage, vissage ou boulonnage.

Note. – L'évaluation des dimensions des raccords est à l'étude.

2.5 *Matériaux et dimensions*

2.5.1 *Matériaux*

Les matériaux utilisés doivent supporter les effets électrodynamiques des courants de décharge atmosphérique et les contraintes accidentelles prévisibles, sans détérioration.

Les matériaux et dimensions doivent être choisis en fonction des risques de corrosion de la structure à protéger ou de l'installation de protection contre la foudre.

Les éléments de l'installation de protection contre la foudre peuvent être constitués des matériaux figurant dans le tableau 4, si ceux-ci présentent une conductivité électrique et une résistance à la corrosion suffisantes. D'autres métaux peuvent être utilisés, si leur comportement mécanique, électrique et chimique (corrosion) est équivalent.

The earth electrodes shall be installed outside the space to be protected at a depth of at least 0.5 m and distributed as uniformly as possible to minimize electrical coupling effects in the earth.

Embedded earth electrodes shall be installed in such a way as to allow inspection during construction.

The embedded depth and the type of the earth electrodes shall be such as to minimize the effects of corrosion, soil drying and freezing and thereby stabilize the equivalent earth resistance. It is recommended that the first metre of a vertical earth electrode should not be regarded as being effective under frost conditions. For bare solid rock, only type B earthing arrangement is recommended.

2.3.6 *Natural earth electrodes*

Interconnected reinforcing steel made of concrete or other suitable underground metal structures, whose characteristics comply with the requirements of Sub-clause 2.5, can be used as an earth electrode. When the metallic reinforcement of concrete is used as an earth electrode, special care shall be exercised at the interconnections to prevent mechanical splitting of the concrete.

Note. – In the case of prestressed concrete, consideration should be given to the consequences of the passage of lightning discharge currents which may produce unacceptable mechanical stresses.

2.4 *Clamping and joints*

2.4.1 *Clamping*

Air-terminations and down-conductors shall be firmly fixed so that electrodynamic or accidental mechanical forces (for instance vibrations, slipping of slabs of snow, etc.) will not cause conductors to break or loosen.

Note. – Evaluation of the dimension of clamps is under consideration.

2.4.2 *Joints*

The number of joints along the conductors shall be kept to a minimum. Joints shall be made secure by such means as brazing, welding, crimping, screwing or bolting.

Note. – Evaluation of dimensions of the joints is under consideration.

2.5 *Materials and dimensions*

2.5.1 *Materials*

The materials used shall withstand the electric and electromagnetic effects of the lightning current and predictable accidental stresses without being damaged.

Material and sizes shall be chosen bearing in mind the possibility of corrosion either of the structure to be protected or of the LPS.

Components of LPS may be manufactured from the materials listed in Table 4, provided they have sufficient electrical conductivity and corrosion resistance. Other metals may be used if they possess equivalent mechanical, electrical and chemical (corrosion) performances.

2.5.2 Dimensions

Le tableau 5 donne les dimensions minimales.

Notes 1. – Ces valeurs peuvent être augmentées selon les contraintes de corrosion ou les contraintes mécaniques rencontrées.

2. – D'autres dimensions sont à l'étude.

2.5.3 Protection contre la corrosion

Compte tenu des risques de corrosion pouvant exister, les matériaux et leurs dimensions doivent être choisis conformément au tableau 4 et aux indications du paragraphe 2.5.2.

3. Installation intérieure de protection contre la foudre

3.1 Liaison équipotentielle

3.1.1 Généralités

La liaison équipotentielle constitue un mode de réduction très important du risque d'incendie et d'explosion, ainsi que des risques de choc électrique à l'intérieur de l'espace à protéger.

La liaison équipotentielle est réalisée au moyen de conducteurs d'équipotentialité ou de parasurtensions reliant l'installation intérieure à l'ossature métallique de la structure, aux équipements métalliques, aux éléments conducteurs et aux équipements électriques et de télécommunication à l'intérieur de l'espace à protéger.

La réalisation d'une installation intérieure risque d'affecter l'ossature métallique extérieure à l'espace à protéger. Il y a lieu de tenir compte de ces effets lors de l'étude de l'installation; une liaison équipotentielle de l'ossature métallique extérieure peut alors être nécessaire.

Si une installation de protection extérieure contre la foudre n'est pas réalisée, mais si une protection des branchements contre les effets de la foudre s'impose, une liaison équipotentielle doit également être prévue.

3.1.2 Liaison équipotentielle des équipements métalliques

Une liaison équipotentielle doit être réalisée dans les cas suivants:

- a) au sous-sol ou approximativement au niveau du sol. Des conducteurs d'équipotentialité doivent être reliés à une barre d'équipotentialité construite et disposée de façon à permettre un accès facile pour vérification. La barre d'équipotentialité doit être raccordée à la prise de terre. Dans de grandes structures, plusieurs barres d'équipotentialité peuvent être installées pourvu qu'elles soient interconnectées;
- b) au-dessous du sol, à des espacements verticaux non supérieurs à 20 m sur les structures de plus de 20 m de hauteur. Les barres de liaison doivent être reliées au ceinturage horizontal raccordant les descentes entre elles (voir paragraphe 2.2.3);
- c) aux emplacements où les exigences de proximité ne sont pas respectées (voir paragraphe 3.2) dans le cas de:
 - structures en béton armé renforcé avec armatures interconnectées;
 - structures à ossature métallique;
 - structures ayant une efficacité de protection équivalente.

2.5.2 Dimensions

Minimum dimensions are given in Table 5.

Notes 1. – The values may be increased to overcome mechanical or corrosion problems.

2. – Further dimensions are under consideration.

2.5.3 Protection against corrosion

Where there is a risk of corrosion, materials shall be selected and dimensioned according to Table 4 and to Sub-clause 2.5.2.

3. Internal lightning protection system

3.1 Equipotential bonding (EB)

3.1.1 General

Equipotentialization is a very important measure to reduce fire and explosion danger and life hazard in the space to be protected.

Equipotentialization is achieved by means of bonding conductors or surge suppressors connecting the LPS, the metal framework of the structure, the metal installation, the extraneous conductive parts and the electrical and telecommunication installations within the space to be protected.

When an LPS is installed, metalwork external to the space to be protected may be affected. This should be considered when designing such systems. EB for external metalwork may also be necessary.

If an external LPS is not installed but protection against the effects of lightning on incoming services is required, then EB shall be provided.

3.1.2 Equipotential bonding for metal installations

EB shall be carried out at the following locations:

- a) in the basement or approximately at ground level. Bonding conductors shall be connected to a bonding bar constructed and installed in such a way that it allows easy access for inspection. The bonding bar shall be connected to the earth termination system. For large structures, more than one bonding bar could be installed provided that they are interconnected.
- b) above ground at vertical intervals not exceeding 20 m for structures of more than 20 m in height. Bonding bars shall be connected to the horizontal ring conductors which bond the down-conductors (see Sub-clause 2.2.3);
- c) where proximity requirements are not fulfilled (see Sub-clause 3.2) in the case of a:
 - reinforced concrete structure with interconnected reinforcing steel;
 - steel frame structure;
 - structure with equivalent screening performance.

Les liaisons équipotentielle ne sont normalement pas nécessaires aux points mentionnés en b) et c), pour les équipements métalliques intérieurs à la structure.

Pour une installation isolée, une liaison équipotentielle doit être réalisée uniquement au niveau du sol.

Si les canalisations de gaz ou d'eau comportent des éléments isolants, ils doivent être court-circuités, par exemple par des parasurtensions (voir paragraphe 1.2.24) dimensionnés selon les conditions de service.

La liaison équipotentielle peut être réalisée à l'aide de:

- conducteurs d'équipotentialité, si les liaisons naturelles n'assurent pas la continuité électrique.

Si une liaison équipotentielle doit écouler l'intégralité du courant de décharge atmosphérique ou une majeure partie de celui-ci, les conducteurs doivent présenter une section minimale conforme aux valeurs du tableau 6; dans les autres cas, leur section est indiquée dans le tableau 7;

- parasurtensions, si une liaison équipotentielle directe n'est pas autorisée.

Notes 1. - Voir aussi le paragraphe 413.1.2 de la Publication 364.4.41 de la CEI.

2. - Le mode de réalisation de ces dispositifs est important et il convient qu'il soit étudié avec les services compétents, du fait du risque d'exigences antagonistes.

3. - Les prescriptions relatives aux caractéristiques des parasurtensions sont à l'étude.

Il convient que les parasurtensions soient installés de manière à en permettre la vérification.

3.1.3 *Liaison équipotentielle de masses*

Pour les éléments conducteurs, la liaison équipotentielle doit être établie aussi près que possible de leur point de pénétration dans la structure. Une majeure partie du courant de décharge atmosphérique peut s'écouler par cette liaison. Par conséquent, les prescriptions du paragraphe 3.1.2 sont applicables.

3.1.4 *Liaison équipotentielle des équipements métalliques, des installations électriques et de télécommunication et des éléments conducteurs dans des conditions particulières.*

Si une installation extérieure ne s'impose pas, les équipements métalliques, les installations électriques et de télécommunication et les éléments conducteurs doivent être reliés, au niveau du sol, à une prise de terre conforme aux prescriptions du paragraphe 2.3.4.

Note. - Cela s'applique aux bâtiments définis par les services nationaux compétents.

3.1.5 *Liaison équipotentielle des installations électriques et de télécommunication dans les conditions habituelles*

Une liaison équipotentielle doit être établie pour les installations électriques et de télécommunication conformément aux prescriptions du paragraphe 3.1.2. Cette liaison équipotentielle doit être réalisée aussi près que possible du point de pénétration dans la structure.

Si les conducteurs sont blindés ou placés dans un conduit métallique, il suffit habituellement de ne relier que ces blindages, à condition que leur résistance ohmique n'entraîne pas une chute de tension dangereuse pour le câble ou le matériel qui y est raccordé.

EB is not normally necessary for the points given in *b)* and *c)* above for metal installations inside the structure.

For isolated LPS, equipotential bonding shall be established only at ground level.

If insulated pieces are inserted in gas lines or water pipes, they shall be bridged by surge suppressors (Sub-clause 1.2.24) designed for the operating conditions.

The EB can be achieved with the aid of:

- bonding conductors, where the electrical continuity is not ensured by natural bonding.

If the whole lightning current or a substantial part of it flows through a bonding connection, the minimum dimensions for cross-sections of bonding conductors are given in Table 6. In other cases, cross-sections are given in Table 7;

- surge suppressors where bonding conductors are not allowed.

Notes 1. - See also Sub-clause 413.1.2 of IEC Publication 364-4-41.

2. - The manner in which this is achieved is important and it should be discussed with the authorities concerned as there may be conflicting requirements.
3. - The requirements of surge suppressor characteristics are under consideration.

Surge suppressors should be installed in such a way that they can be inspected.

3.1.3 *Equipotential bonding for extraneous conductive parts*

For extraneous conductive parts, EB shall be established as near to the point of entry into the structure as possible. It is to be expected that an essential part of the lightning current will flow through the bonding connections. Therefore the requirements outlined in Sub-clause 3.1.2 shall apply.

3.1.4 *Equipotential bonding for metal installations, electrical and telecommunication installations and extraneous conductive parts in particular conditions*

Where an external LPS is not required, metal installations, electrical and telecommunication installations and extraneous conductive parts shall be connected at ground level to an earth-termination complying with the requirements of Sub-clause 2.3.4.

Note. - This applies to structures as defined by national authorities.

3.1.5 *Equipotential bonding for electrical and telecommunication installations in common cases*

EB for electrical and telecommunication installations shall be established in accordance with Sub-clause 3.1.2. EB shall be established as near to the point of entry into the structure as possible.

If the conductors are screened or in metal conduit, it is normally sufficient to bond only the shields, provided that these shields present an electrical resistance such that the potential difference across it will not endanger the cable and the connected equipment.

Tous les conducteurs de phase sont reliés directement ou indirectement. Les conducteurs actifs sont seulement reliés à l'installation de protection contre la foudre par l'intermédiaire de parasurtensions. Dans le schéma TN, le conducteur de protection PE ou le conducteur PEN sont reliés directement à l'installation de protection contre la foudre.

Notes 1. – Le mode de réalisation est important et il convient qu'il soit étudié avec les services compétents, du fait du risque d'exigences antagonistes.

2. – Voir aussi la définition 826-04-06 de la Publication 50 (826).

3.2 Proximité des installations de protection contre la foudre et d'autres installations

Afin d'éviter tout amorçage lorsqu'une liaison équipotentielle ne peut être réalisée, la distance s entre l'installation de protection contre la foudre et les équipements métalliques ainsi qu'entre les éléments conducteurs et les lignes doit être augmentée par rapport à la distance de sécurité d :

$$s \geq d$$

$$d = k_i \frac{k_c}{k_m} l(\text{m})$$

où:

k_i dépend du niveau de protection choisi (voir tableau 8)

k_c dépend de la configuration dimensionnelle (voir figures 3, 4 et 5)

k_m dépend du matériau séparateur (voir tableau 9)

$l(\text{m})$ est la longueur de la descente entre le point où la proximité est prise en considération et la liaison équipotentielle la plus proche.

Ce rapport est valable si la distance entre les descentes est de l'ordre de 20 m.

Notes 1. – Des relations sont à l'étude pour d'autres distances.

2. – Dans le cas de structures en béton armé à armatures d'acier interconnectées et de structures à charpente métallique ou avec une protection équivalente, les prescriptions de proximité sont habituellement respectées.

3.3 Protection contre le risque de choc électrique

La liaison équipotentielle constitue la mesure la plus importante permettant d'éviter tout risque de choc électrique dans l'espace à protéger.

Note. – D'autres mesures sont à l'étude.

4. Conception, entretien et vérification des installations de protection contre la foudre

4.1 Conception

L'efficacité des installations décroît du niveau de protection I au niveau de protection IV.

Notes 1. – L'efficacité de l'installation aux différents niveaux de protection est à l'étude.

2. – Il convient que le niveau de protection approprié soit déterminé avec les services nationaux compétents.

3. – Les critères fixant le choix du niveau de protection sont à l'étude.

All conductors of the lines should be bonded directly or indirectly. Live conductors should only be bonded to the LPS via surge suppressors. In TN systems, PE or PEN conductors should be bonded directly to the LPS.

Notes 1. – The manner in which this is achieved is important, and should be discussed with the authorities concerned as there may be conflicting requirements.

2. – See also IEC Publication 50 (826) – Definition 826-04-06.

3.2 Proximity of installations to LPS

In order to avoid dangerous sparking when equipotential bonding cannot be achieved, the separation distance, s , between the LPS and metal installations as well as that between extraneous conductive parts and lines shall be increased above the safety distance, d :

$$s \geq d$$

$$d = k_i \frac{k_c}{k_m} l(\text{m})$$

where:

k_i depends on the selected protection level of LPS (Table 8)

k_c depends on dimensional configuration (see Figures 3, 4, 5)

k_m depends on separation material (see Table 9)

$l(\text{m})$ is the length along the down-conductor from the point where the proximity is to be considered to the nearest equipotential bonding point.

The formula is valid if the distance between down-conductors is in the order of 20 m.

Notes 1. – Formulae for other distances are under consideration.

2. – In the case of reinforced concrete structures with interconnected reinforcing steel and in the case of steel frame structures or of structures with equivalent screening performance, proximity requirements are normally fulfilled.

3.3 Safeguard against life hazard

The most important safeguard against life hazard in the space to be protected is the EB.

Note. – Other measures are under consideration.

4. Design, maintenance and inspection of LPS

4.1 Design

The efficiency of LPS decreases from protection level I to protection level IV.

Notes 1. – The efficiency of LPS for each protection level is under consideration.

2. – The appropriate protection level should be selected on the basis of the requirements of the national authorities.

3. – Criteria for the selection of protection levels are under consideration.

Une conception techniquement et économiquement optimisée d'une installation de protection contre la foudre est possible seulement si les différents stades de conception de ce dernier sont liés aux phases d'étude et de construction de la structure à protéger. En particulier, l'utilisation possible de parties métalliques de la structure comme éléments de l'installation de protection contre la foudre sera prévue lors de l'étude de la structure proprement dit.

4.2 *Entretien et vérification*

4.2.1 *Objet des vérifications*

Les vérifications ont pour objet de s'assurer que:

- a) l'installation de protection contre la foudre est conforme à la conception;
- b) tous les composants de l'installation de protection contre la foudre sont en bon état et peuvent assurer les fonctions auxquelles ils sont destinés, et qu'il n'y a pas de corrosion;
- c) toutes les dispositions ou constructions récemment ajoutées sont intégrées à l'espace à protéger par une liaison à l'installation de protection contre la foudre ou par des extensions de celle-ci.

4.2.2 *Ordre des vérifications*

Les vérifications devraient être effectuées conformément au paragraphe 4.2.1 de la manière suivante:

- des vérifications pendant la construction de la structure, destinées à contrôler les prises enterrées;
- une vérification après la réalisation de l'installation de protection contre la foudre, conformément aux points a) et b);
- des vérifications périodiques, effectuées conformément aux points a), b) et c), à des intervalles déterminés en fonction de la nature de l'espace à protéger et des problèmes de corrosion;
- des vérifications supplémentaires, effectuées conformément aux points a), b) et c), après toute modification ou réparation, ou si la structure a été frappé par la foudre.

4.2.3 *Entretien*

Des vérifications régulières constituent le principe même d'un entretien fiable d'une installation de protection contre la foudre. Toute défectuosité constatée doit être réparée sans retard.

A technically and economically optimized design of an LPS is only possible if the steps in the design of the LPS are correlated with the steps in the design and construction of the structure to be protected. In particular, the possible utilization of metal parts of a structure as parts of the LPS should be foreseen in the design of the structure itself.

4.2 *Maintenance and inspection*

4.2.1 *Scope of inspections*

The objectives of the inspections are to ascertain that:

- a) the LPS complies with the design;
- b) all components of the LPS are in good condition and capable of performing their designed functions, and that there is no corrosion;
- c) any recently added services or constructions are incorporated into the protected space by bonding or extensions to the LPS.

4.2.2 *Order of inspections*

Inspections should be made according to Sub-clause 4.2.1 as follows:

- inspections during the construction of the structure, in order to check the embedded electrodes;
- inspection after the installation of the LPS made according to Items *a)* and *b)*;
- periodically repeated inspections made according to Items *a)*, *b)* and *c)* at such intervals as are determined with regard to the nature of the space to be protected and the corrosion problems;
- additional inspections made according to Items *a)*, *b)* and *c)* after alterations or repairs, or when it is known that the structure has been struck by lightning.

4.2.3 *Maintenance*

Regular inspections are among the fundamental conditions for a reliable maintenance of a LPS. All observed faults shall be repaired without delay.

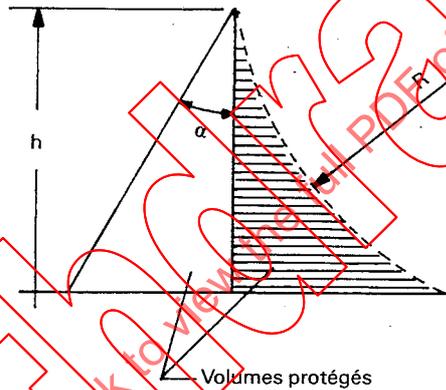
TABLEAU 1

Positionnement du dispositif de capture en fonction du niveau de protection (voir paragraphe 2.1.2)

Niveau de protection	h (m)		20	30	45	60	Dimension des mailles (m)
	R (m)	$a^{(o)}$					
I		20	25	*	*	*	
II	30	35	25	*	*		10
III	45	45	35	25	*		10
IV	60	55	45	35	25		20

* Dans ces cas, le maillage et la sphère fictive sont seulement applicables.

Note. - D'autres hauteurs sont à l'étude.



219/90

TABLEAU 2

Épaisseur minimale des tôles ou canalisations métalliques du dispositif de capture (voir paragraphe 2.1.4)

Niveau de protection	Matériau	Épaisseur t (mm)
I à IV	Fe	4
	Cu	5
	Al	7

Note. - D'autres épaisseurs sont à l'étude.

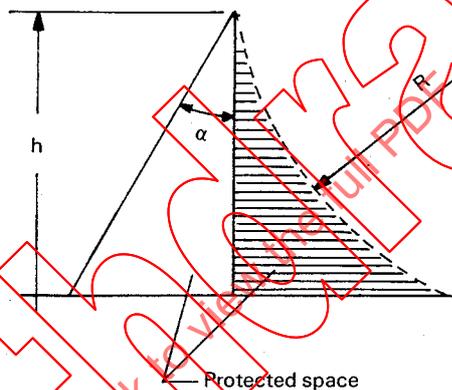
TABLE I

Positioning of air-termination according to the protection level
(see Sub-clause 2.1.2)

Protection level	h (m) R (m)	20	30	45	60	Mesh width (m)
		$a^{(o)}$	$a^{(o)}$	$a^{(o)}$	$a^{(o)}$	
I	20	25	*	*	*	5
II	30	35	25	*	*	10
III	45	45	35	25	*	10
IV	60	55	45	35	25	20

* Rolling sphere and mesh only apply in these cases.

Note. – Other heights are under consideration.



219/90

TABLE 2

Minimum thickness of metal sheets or metal pipes in air-termination systems
(see Sub-clause 2.1.4)

Protection level	Material	Thickness t (mm)
I to IV	Fe	4
	Cu	5
	Al	7

Note. – Other thicknesses are under consideration.

TABLEAU 3

Distance moyenne entre descentes, en fonction du niveau de protection
(voir paragraphe 2.2.3)

Niveau de protection	Distance moyenne (m)
I	10
II	15
III	20
IV	25

TABLEAU 4

Matériaux et conditions d'utilisation des installations de protection contre la foudre (voir paragraphe 2.5.1)

Matériau	Utilisation			Corrosion		
	A l'air libre	Enterré	Sous béton	Résistance	Risque	Electrolytique
Cuivre	Massif Torsadé En revêtement	Massif Torsadé En revêtement	—	A de nombreux produits	<ul style="list-style-type: none"> . Chlorures fortement concentrés . Composés sulfureux . Matières organiques 	—
Acier galvanisé à chaud	Massif Torsadé	Massif	Massif	Bonne, même dans des sols acides	—	Avec du cuivre
Acier inoxydable	Massif Torsadé	Massif	—	A de nombreux produits	Eau avec chlorure dissous	—
Aluminium	Massif Torsadé	—	—	—	Agents basiques	Avec du cuivre
Plomb	Massif En revêtement	Massif En revêtement	—	A fortes concentrations de sulfates	Sols acides	Avec du cuivre

TABLE 3

Average distance between down-conductors according to the protection level
(see Sub-clause 2.2.3)

Protection level	Average distance (m)
I	10
II	15
III	20
IV	25

TABLE 4

LPS materials and conditions of use (see Sub-clause 2.5.1)

Material	Use			Corrosion		
	In open air	In earth	In concrete	Resistance	Increased by	Electrolytic with
Copper	Solid Stranded As coating	Solid Stranded As coating	—	Against many materials	Highly concentrated chlorides Sulphur compounds Organic materials	—
Hot-galvanized steel	Solid Stranded	Solid	Solid	Good, even in acid soils	—	Copper
Stainless steel	Solid Stranded	Solid	—	Against many materials	Water with dissolved chlorides	—
Aluminium	Solid Stranded	—	—	—	Basic agents	Copper
Lead	Solid As coating	Solid As coating	—	High concentration of sulphates	Acid soils	Copper