

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61024-1-2

Première édition
First edition
1998-05

Protection des structures contre la foudre –

Partie 1-2:

**Principes généraux –
Guide B – Conception, installation, maintenance
et inspection des installations de protection
contre la foudre**

Protection of structures against lightning –

Part 1-2:

**General principles –
Guide B – Design, installation, maintenance and
inspection of lightning protection systems**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61024-1-2:1998

Numéros des publications

Depuis le 1^{er} janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

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

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 dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- **«Site web» de la CEI***
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement (Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

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 in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates (On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61024-1-2

Première édition
First edition
1998-05

Protection des structures contre la foudre –

Partie 1-2:

**Principes généraux –
Guide B – Conception, installation, maintenance
et inspection des installations de protection
contre la foudre**

Protection of structures against lightning –

Part 1-2:

**General principles –
Guide B – Design, installation, maintenance and
inspection of lightning protection systems**

© IEC 1998 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembe Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

XF

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 Références normatives	8
1.3 Termes et définitions	8
2 Conception d'une installation de protection contre la foudre (IPF)	12
2.1 Remarques générales	12
2.2 Procédure de conception	14
2.3 Consultation.....	14
2.4 Conception d'une installation extérieure de protection contre la foudre	18
2.5 Conception d'une installation intérieure de protection contre la foudre	30
2.6 Prescriptions électriques et mécaniques.....	38
2.7 Calculs pour la conception	40
3 Construction du système de protection extérieur	42
3.1 Dispositif de capture	42
3.2 Conducteurs de descente.....	54
3.3 Réseau de prises de terre	62
4 Réalisation d'une installation intérieure de protection contre la foudre	74
4.1 Equipotentialité des parties conductrices intérieures.....	74
4.2 Equipotentialité des services extérieurs.....	76
4.3 Protection contre les effets des courants induits dans les installations intérieures	76
5 Choix des matériaux	78
5.1 Matériaux.....	78
5.2 Protection contre la corrosion.....	78
6 Maintenance des installations de protection contre la foudre	82
6.1 Remarques générales.....	82
6.2 Procédure de maintenance	82
6.3 Documentation de maintenance	84
7 Inspection des installations de protection contre la foudre	84
7.1 Remarques générales	84
7.2 Procédure d'inspection.....	86
7.3 Documentation d'inspection	88
8 Danger de mort.....	88
8.1 Tension de pas	88
8.2 Tension de contact.....	88
8.3 Mesures pour réduire la probabilité de choc électrique	90
Tableaux	92
Figures	98
Annexe A (normative) Structures en béton armé	216
Annexe B (normative) Protection contre les effets des courants induits dans les installations intérieures.....	252

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	7
Clause	
1 General	9
1.1 Scope and object	9
1.2 Normative references	9
1.3 Terms and definitions	9
2 Design of lightning protection systems (LPS)	13
2.1 General remarks	13
2.2 Planning procedure	15
2.3 Consultation	15
2.4 Design of an external LPS	19
2.5 Design of an internal LPS	31
2.6 Electrical and mechanical requirements	39
2.7 Design calculation	41
3 Construction of an external LPS	43
3.1 Air-termination system	43
3.2 Down-conductor system	55
3.3 Earth-termination system	63
4 Construction of an internal LPS	75
4.1 Equipotential bonding of internal conductive parts	75
4.2 Equipotential bonding of external services	77
4.3 Protection against effects of induced currents in internal installations	77
5 Selection of materials	79
5.1 Materials	79
5.2 Protection against corrosion	79
6 Maintenance of lightning protection systems	83
6.1 General remarks	83
6.2 Maintenance procedure	83
6.3 Maintenance documentation	85
7 Inspection of lightning protection systems	85
7.1 General remarks	85
7.2 Inspection procedure	87
7.3 Documentation of inspection	89
8 Life hazard	89
8.1 Step voltage	89
8.2 Touch voltage	89
8.3 Measures to reduce the probability of electric shock	91
Tables	93
Figures	99
Annex A (normative) Reinforced concrete structures	217
Annex B (normative) Protection against effects of induced currents in internal installations	253

PROTECTION DES STRUCTURES CONTRE LA FOUDRE –

Partie 1-2: Principes généraux – Guide B – Conception, installation, maintenance et inspection des installations de protection contre la foudre

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes Internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques, représentent, dans la mesure du possible un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, rapports techniques ou guides et agréés comme tels 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.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61024-1-2 a été préparée par le comité d'études 81 de la CEI: Protection contre la foudre.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
81/109/FDIS	81/112/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.

Les annexes A et B font partie intégrante de cette norme.

Dans cette norme, les caractères suivants sont utilisés:

- prescriptions: caractères romains;
- Notes: petits caractères romains.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

PROTECTION OF STRUCTURES AGAINST LIGHTNING –

**Part 1-2: General principles –
Guide B – Design, installation, maintenance and inspection
of lightning protection systems**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation 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 express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are 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.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61024-1-2 has been prepared by IEC technical committee 81: Lightning protection.

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

FDIS	Report on voting
81/109/FDIS	81/112/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.

Annexes A and B form an integral part of this standard.

In this standard the following print types are used:

- Requirements: in roman type;
- Explanatory matter: in small roman type.

INTRODUCTION

La CEI 61024-1 donne les définitions fondamentales et les principes généraux de protection contre la foudre; elle donne aussi les informations relatives à la conception, la construction et les matériaux pour faciliter la conception et l'installation extérieure et intérieure de protection des structures contre la foudre (IPF). Elle donne aussi des prescriptions essentielles et des instructions pour la maintenance et la vérification des installations de protection contre la foudre.

Le choix des niveaux de protection pour les installations de protection contre la foudre fait l'objet du Guide A de la CEI 61024-1-1.

Le guide B est un complément de la CEI 61024-1, qui tient compte des avis consensuels d'experts de nombreux pays et constitue les règles de l'art relatives à la conception, l'installation, la maintenance et les essais d'un système de protection contre la foudre.

Le tableau 1 du présent guide facilite l'organisation de la conception d'un système de protection au moindre coût.

Le diagramme de la figure 1 facilite l'aspect systématique et rationnel de la conception par une procédure efficace dans le temps.

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

INTRODUCTION

IEC 61024-1 establishes the fundamental definitions and general principles of lightning protection and provides the necessary information concerning design, construction and materials to facilitate the management and basic installation of external and internal lightning protection systems (LPS) for common structures. It also gives basic requirements and instructions for good maintenance and inspection practice of LPS.

The selection of protection levels for lightning protection systems is covered by Guide A of IEC 61024-1-1.

Guide B complements IEC 61024-1 by giving the consensus view of many countries' experts as to the best general practice based on the present state of the art concerning design, construction, maintenance and testing of LPS.

Table 1 of this guide facilitates the management of LPS design so that LPS are integrated into structures at minimum cost.

Flow diagram (figure 1) facilitates systematic and rational consideration of the design by establishing a time-efficient procedure.

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

PROTECTION DES STRUCTURES CONTRE LA FOUDRE –

Partie 1-2: Principes généraux – Guide B – Conception, installation, maintenance et inspection des installations de protection contre la foudre

1 Généralités

1.1 Domaine d'application et objet

La présente partie de la CEI 61024 sert de guide et est applicable à la conception et à l'installation de protection contre la foudre pour des bâtiments jusqu'à 60 m de hauteur conformément à la CEI 61024-1.

Ce guide donne des indications sur l'utilisation de la CEI 61024-1 et aide l'utilisateur pour la conception physique, la construction, la maintenance et la vérification du système de protection conformément à cette norme.

Des exemples traitant du consensus international des techniques actuelles de protection sont donnés.

NOTE – Les exemples donnés illustrent une méthode possible de réalisation d'une protection. D'autres méthodes peuvent être utilisées.

1.2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 61024. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 61024 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 60364 (toutes les parties), *Installations électriques des bâtiments*

CEI 61024-1: 1990, *Protection des structures contre la foudre – Première Partie: Principes généraux*

CEI 61024-1-1:1993, *Protection des structures contre la foudre – Partie 1: Principes généraux – Section 1: Guide A – Choix des niveaux de protection pour les installations de protection contre la foudre*

CEI 61312-1:1995, *Protection contre l'impulsion électromagnétique générée par la foudre – Partie 1: Principes généraux*

CEI 61662:1995, *Estimation des risques de dommages liés à la foudre*

1.3 Termes et définitions

Pour les besoins de la présente partie de la CEI 61024, en complément aux termes et définitions donnés dans la CEI 61024-1, les définitions suivantes sont applicables:

PROTECTION OF STRUCTURES AGAINST LIGHTNING –

Part 1-2: General principles – Guide B – Design, installation, maintenance and inspection of lightning protection systems

1 General

1.1 Scope and object

This part of IEC 61024 serves as a guide and is applicable to the design and installation of LPS for common structures up to 60 m high, in accordance with IEC 61024-1.

This guide provides guidelines on how to use IEC 61024-1 and assists the user with the physical design and construction, maintenance and inspection of an LPS in accordance with that standard.

Examples are given of protection techniques which have the approval of international experts.

NOTE – The examples given illustrate one possible method of achieving protection. Other methods may be equally valid.

1.2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 61024. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subjected to revision, and parties to agreements based on this part of IEC 61024 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 60364 (all parts), *Electrical installations of buildings*

IEC 61024-1:1990, *Protection of structures against lightning – Part 1: General principles*

IEC 61024-1-1:1993, *Protection of structures against lightning – Part 1: General principles – Section 1: Guide A – Selection of protection levels for lightning protection systems*

IEC 61312-1:1995, *Protection against lightning electromagnetic impulses – Part 1: General principles*

IEC 61662:1995, *Assessment of the risk of damage due to lightning*

1.3 Terms and definitions

For the purpose of this part of IEC 61024, and in addition to the terms and definitions given in IEC 61024-1, the following definitions apply:

1.3.1

concepteur du système de protection contre la foudre

personne compétente et qualifiée pour la conception d'un système de protection contre la foudre

NOTE – Les fonctions de concepteur et d'installateur peuvent être assumées par la même personne.

1.3.2

installateur du système de protection contre la foudre

personne compétente et qualifiée pour l'installation du système de protection

NOTE – Les fonctions de concepteur et d'installateur peuvent être assumées par la même personne.

1.3.3

conducteur de ceinturage

conducteur d'un système de protection formant une boucle autour de la structure et reliant tous les conducteurs de descente pour une répartition égale du courant de foudre

1.3.4

éléments conducteurs extérieurs

services métalliques pénétrant ou quittant la structure à protéger tels que canalisations, écrans de câbles, fourreaux métalliques, etc. qui peuvent écouler une partie du courant de foudre

1.3.5

résistivité de surface

résistivité moyenne de la couche de surface du sol

1.3.6

corrosion des métaux

tous types de corrosion, galvanique ou chimique

1.3.7

distance de coup de foudre

rayon adopté pour «la sphère fictive» tel que donné dans le tableau 1 de la CEI 61024-1

1.3.8

conducteur de descente intérieur

conducteur de descente situé à l'intérieur de la structure protégée contre la foudre; par exemple une descente de béton armé utilisée comme conducteur de descente naturel

1.3.9

barre d'équipotentialité en acier

tige d'acier ordinaire reliée aux armatures du béton armé et à laquelle les conducteurs d'équipotentialité et d'interconnexion doivent être reliés par soudure ou serrage

1.3.10

connexion d'équipotentialité en acier

connexion utilisée pour les tiges en acier liées aux tiges de renfort et utilisées pour la connexion à la liaison équipotentielle dans le bâtiment, conduisant à une distribution du courant dans les tiges de renfort

1.3.11

conducteur d'équipotentialité

conducteur pour les liaisons entre les parties à connecter à la barre d'équipotentialité et les connexions d'équipotentialité. Il est situé en partie à l'extérieur du béton (pour les parties à connecter aux connexions d'équipotentialité), et en partie dans le béton (entre le point de connexion et la connexion d'équipotentialité) (voir aussi 1.2.20 de la CEI 61024-1, modifié)

1.3.1**lightning protection designer**

specialist competent and skilled in the design of the LPS

NOTE – The functions of LPS designer and installer may be performed by the same person.

1.3.2**lightning protection installer**

a person competent and skilled in the installation of LPS

NOTE – The functions of LPS designer and installer may be performed by the same person.

1.3.3**ring conductor**

conductor forming a loop around the structure and interconnecting the down conductors for an equal distribution of lightning current among them

1.3.4**external conductive parts**

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

1.3.5**surface resistivity**

average resistivity of the surface layer of the soil

1.3.6**corrosion of metals**

all types of corrosion, galvanic and chemical

1.3.7**striking distance**

adopted radius of the rolling sphere as given in table 1 of IEC 61024-1

1.3.8**internal down-conductor**

down-conductor situated inside the structure protected against lightning; for example a column of reinforced concrete used as a natural down-conductor

1.3.9**steel bonding bar**

common steel rod tied to the reinforcing bars with steel wires of a reinforced concrete structure to which bonding conductors or other interconnecting conductors are welded or clamped

1.3.10**steel bonding connector**

connection used for the steel rods which are lashed to the reinforcing rods and which are employed for connection of the equipotential bonding inside the building to the reinforcing rods and thus distribute the introduced current among the reinforcing rods

1.3.11**bonding conductor**

conductor for connections between parts to be connected to the potential bonding bar and for the connections to the bonding connectors. These lie in part outside the concrete (from the parts to be connected to the connection point), in part within the concrete (between the connection point and the bonding connector) (see also 1.2.20 of IEC 61024-1, modified)

1.3.12

barre d'équipotentialité

barre assurant l'interconnexion des conducteurs d'équipotentialité (connectés mutuellement) (voir aussi 1.2.19 de la CEI 61024-1, modifié)

1.3.13

prise de terre verticale

prise de terre d'un dispositif de capture installée dans le sol de manière verticale. Les prises de terre installées avec un angle par rapport à la verticale sont incluses.

2 Conception d'une installation de protection contre la foudre (IPF)

2.1 Remarques générales

La fonction essentielle d'une installation de protection contre la foudre conçue selon la CEI 61024-1 est de protéger les personnes et les biens des effets destructifs de la foudre.

Il convient que le système de protection soit conçu et installé par des concepteurs et des installateurs spécialisés.

Il convient que le concepteur de l'IPF soit capable d'évaluer les effets électriques et mécaniques de la décharge de foudre et soit aussi familiarisé avec les principes généraux de la compatibilité électromagnétique (CEM), voir tableau 1.

De plus, il est recommandé que le concepteur du système de protection contre la foudre soit capable d'évaluer les effets de la corrosion et de demander l'aide d'un expert si nécessaire.

Il y a lieu que l'installateur du système de protection soit habitué à installer correctement des composants du système de protection conformément aux prescriptions de la CEI 61024-1 et aux règlements nationaux régissant la construction de bâtiments.

La conception, l'installation et la vérification du système de protection contre la foudre couvre divers domaines techniques et exige une coordination de tous les corps impliqués dans la construction afin d'assurer l'efficacité du niveau de protection choisi à moindre coût et pour un minimum de travaux. Il convient que la conception d'un tel système corresponde à la démarche du tableau 1. Les mesures de l'assurance qualité sont de la plus haute importance en particulier pour les structures comportant des installations extensives électriques et électroniques.

Les mesures d'assurance de la qualité commencent au niveau de la conception où il convient d'approuver tous les schémas et se poursuivent au niveau de la construction où il y a lieu de vérifier les parties essentielles du système de protection qui ne seront pas accessibles lors des vérifications après travaux. Elles s'appliquent encore au niveau de l'agrément lorsqu'il convient d'effectuer les mesures finales sur le système en conformité avec la documentation d'essais et continuant d'être appliquées durant toute la durée de vie du système lors de vérifications périodiques minutieuses qui sont conformes au programme de maintenance.

Il est recommandé que le système de protection subisse une maintenance régulière afin de s'assurer qu'il ne se détériore pas et qu'il continue à remplir les prescriptions originelles.

Il convient que le programme de maintenance du système de protection de la structure serve à une mise à niveau permanente du système.

Si des modifications sont apportées à la structure et à ses installations, il y a lieu d'effectuer une vérification pour déterminer si les mesures existantes sont toujours conformes à la CEI 61024-1. Si la protection n'est plus appropriée, il y a lieu d'effectuer immédiatement des améliorations.

Il est recommandé que les matériaux et dimensions des dispositifs de capture, des conducteurs de descente, des conducteurs de terre, des équipotentialités, des composants, etc. comme l'indique ce guide, soient coordonnés, quels que soient les dispositifs et systèmes utilisés, prévus pour apporter une protection renforcée (voir 2.1.3 de la CEI 61024-1).

1.3.12**bonding bar**

bar by means of which the bonding conductors are interconnected (mutually connected) (see also 1.2.19 of IEC 61024-1, modified)

1.3.13**vertical earth electrode**

earth electrode installed in soil in a vertical position or with an inclination to the vertical

2 Design of lightning protection systems (LPS)**2.1 General remarks**

The primary function of an LPS designed in accordance with IEC 61024-1 is to protect lives and property from the destructive effects of lightning.

The LPS should be designed and installed by LPS designers and installers.

The lightning protection designer should be capable of assessing both the electrical and mechanical effects of lightning discharge and also be familiar with the general principles of electromagnetic compatibility (EMC), see table 1.

Furthermore the lightning protection designer should be capable of assessing corrosion effects and judging when it is necessary to seek expert assistance.

The lightning protection installer should be trained in the proper installation of the LPS components in accordance with the requirements of IEC 61024-1 and the national rules regulating construction work and the building of structures.

Planning, implementation and testing of the LPS covers a number of technical fields and makes demands for coordination by all parties involved with the structure to ensure the achievement of the selected lightning protection level with minimum cost and lowest possible effort. The management of the LPS should be efficient if the steps in table 1 are followed. The quality assurance measures are of great importance in particular for structures including extensive electrical and electronic installations.

The quality assurance measures extend from the planning stage, in which all drawings should be approved, through the LPS construction stage during which all essential parts of the LPS which will not be accessible for inspection after the construction works have been finished should be checked, through the acceptance stage when final measurements on the LPS should be performed together with the accomplishment of the final test documentation and finally through the entire life time of the LPS by specifying careful periodic inspections in accordance with the maintenance programme.

The LPS should be maintained regularly to ensure that it does not deteriorate but continues to fulfil the requirements to which it was originally designed.

The LPS maintenance programme should ensure a continuous updating of the LPS.

Where modifications are made to a structure or its installations, a check should be made to determine whether the existing lightning protection still complies with IEC 61024-1. If it is found that the protection is inadequate, improvements should be implemented immediately.

It is recommended that the materials, extent and dimensions of the air terminations, down conductors, earth terminations, bonding, components, etc. as laid down in this standard should be adhered to in full, irrespective of any devices or systems employed which are claimed to provide enhanced protection (see 2.1.3 of IEC 61024-1).

2.2 Procédure de conception

Avant toute étude détaillée du système de protection, il est recommandé au concepteur du système de protection de s'informer sur la fonction, la conception, la construction et l'emplacement de la structure.

Si le système de protection n'a pas déjà été spécifié par une autorité, l'assureur ou l'acheteur, il est recommandé au concepteur du système de protection de classer la structure conformément à l'article 2 de la CEI 61024-1-1, et de déterminer si la structure doit être ou non protégée et le niveau de protection approprié du système de protection selon les prescriptions de l'article 4 de la CEI 61024-1-1.

Lorsque la structure a été classifiée comme "commune" et que le niveau de protection est défini, le concepteur devra utiliser la CEI 61024-1 et les guides d'application appropriés – CEI 61024-1-1 (guide A) et la présente norme (guide B) – pour concevoir un système cohérent.

Il convient que la construction et l'installation d'un système de protection soient supervisées par l'installateur.

2.3 Consultation

2.3.1 Informations générales

Aux niveaux conception et construction d'une nouvelle structure, il convient que le concepteur de l'IPF, l'installateur et les autres personnes responsables de la structure, ou des règlements relatifs à l'usage de la structure, (par exemple l'acheteur, l'architecte) se consultent régulièrement.

Le schéma de la figure 1 facilitera la conception rationnelle d'une installation de protection contre la foudre (IPF).

Aux niveaux de conception et de construction d'un système de protection dans une structure existante, il convient de prévoir des consultations entre les personnes responsables de la structure, de son usage, des installations et des services.

Ces consultations peuvent avoir lieu entre le propriétaire, le responsable de la structure ou leur représentant attitré. Pour les structures existantes, il y a lieu que le concepteur de l'IPF fournisse les schémas qui seront modifiés par l'installateur si nécessaire.

Grâce à des consultations régulières entre les parties impliquées, il est possible de réaliser un système de protection efficace et peu onéreux. Par exemple, la coordination des travaux de conception du système de protection et de construction des structures permettra d'éviter les connexions des conducteurs d'équipotentialité et de réduire la longueur de ceux qui sont inévitables. Les coûts de construction sont souvent réduits si on prévoit des cheminements communs pour des installations diverses dans une même structure.

La consultation est importante à toutes les étapes de la construction de la structure et des modifications du système de protection peuvent être nécessaires. La consultation est aussi nécessaire pour faciliter la vérification des parties du système de protection qui deviendront inaccessibles à la fin des travaux. Lors de ces consultations, il convient de déterminer tous les emplacements afin de définir les liaisons avec les "composants naturels". Les architectes sont normalement aptes à coordonner les consultations lors de la construction de nouveaux bâtiments.

2.3.2 Principales parties consultées

Il est recommandé au concepteur du système de protection de mener des consultations techniques avec toutes les parties impliquées dans la conception et la construction de la structure, y compris le propriétaire de la structure.

Il y a lieu que les zones particulières de responsabilité du système de protection soient définies par le concepteur en liaison avec l'architecte, le constructeur de la structure et l'installateur (fournisseur) et, si cela est nécessaire avec un conseiller historique, le propriétaire ou son représentant.

2.2 Planning procedure

Before any detailed design work on the LPS is commenced, the lightning protection designer should obtain basic information regarding the function, general design, construction and location of the structure.

Where the LPS has not already been specified by the licensing authority, insurer or purchaser, the lightning protection designer should classify the structure in accordance with clause 2 of IEC 61024-1-1 and determine whether or not to protect the structure with an LPS by following the procedures in clause 4 of IEC 61024-1-1, for selection of proper LPS protection level.

When the structure has been classified as being common and a protection level has been determined, the lightning protection designer should use IEC 61024-1, with the relevant application guides – IEC 61024-1-1 (guide A) and this standard (guide B) – to design a comprehensive LPS.

The construction and installation of the LPS should be supervised by an LPS installer.

2.3 Consultation

2.3.1 General information

In the design and construction stages of a new structure, the LPS designer and LPS installer and all other persons responsible for installations in the structure or for regulations pertaining to the use of the structure (e.g. purchaser, architect civil constructor) should consult each other regularly.

The flow diagram of figure 1 will facilitate the rational design of an LPS.

In the design and construction stages of an LPS for an existing structure, consultations should be held with the persons responsible for the structure, its use, installations and incoming services.

The consultations may have to be arranged through the owner or the building contractor for the structure or their appointed representative. For existing structures the LPS designer should provide drawings which should be modified by the LPS installer, where necessary.

Regular consultations between the involved parties should result in an effective LPS at the lowest possible cost. For example, the coordination of LPS design work and construction work will often obviate the need for some bonding conductors and reduce the length of those which are necessary. Building costs are often reduced substantially by the provision of common routes for various installations within a structure.

Consultation is important throughout all stages of the construction of a structure as modifications to the LPS may be required due to changes in the structure design. Consultation is also necessary so that arrangements can be agreed to facilitate inspection of the parts of the LPS which will become inaccessible for visual control after the structure is completed. In these consultations all locations should be determined at which connections between natural components and the LPS will be required. Architects are normally available to arrange and coordinate consultation meetings for new building projects.

2.3.2 The principal consulting parties

The lightning protection designer should hold relevant technical consultations with all parties involved in the design and construction of the structure including the owner of the structure.

Particular areas of responsibility for the total installation of the LPS should be defined by the LPS designer in conjunction with the architect, building contractor and the LPS installer (LPS supplier) and, where relevant a historical adviser and the owner or his representative.

La répartition des responsabilités lors de la conception et de la construction d'un système de protection est particulièrement importante, par exemple pour l'étanchéité de la toiture lors de la fixation de composants du système de protection ou pour les connexions des conducteurs de terre sous la fondation.

2.3.2.1 Architecte

Il convient d'obtenir un accord sur les points suivants:

- cheminement de tous les conducteurs du système de protection;
- matériaux des composants du système de protection;
- détails des tuyauteries, gouttières, rails ou autre matériel;
- détails des équipements, appareils, installations susceptibles d'être situées à proximité de la structure et nécessitant une équipotentialité avec le système de protection; de tels exemples sont les systèmes d'alarme, de sécurité, de télécommunication interne, systèmes de traitement des données et des signaux, radio ou télévision.
- extension de services conducteurs enterrés pouvant influencer sur les réseaux de terre et nécessiter une distance de sécurité du système de protection vis-à-vis de la structure;
- les zones de mise à la terre et de prise de terre de référence;
- extension des travaux et la répartition des responsabilités pour les fixations primaires du système de protection, par exemple celles affectant la tenue à l'eau des matériaux, principalement ceux des toitures;
- matériaux conducteurs à utiliser dans la structure, particulièrement les armatures continues, par exemple étanchéité ou canalisations métalliques pénétrant ou quittant la structure et qui peuvent nécessiter une équipotentialité;
- impact visuel du système de protection;
- impact du système sur la constitution de la structure;
- emplacements des points de connexion aux armatures en acier, particulièrement à la pénétration des éléments conducteurs extérieurs (canalisations, écrans de câbles, etc.).

2.3.2.2 Services publics

Il convient d'obtenir un accord sur la liaison des services entrants avec le système de protection. Il n'y a pas lieu de prendre en compte des accords obtenus pour d'autres structures.

2.3.2.3 Pompiers et services de sécurité

Il y a lieu d'obtenir un accord sur les points suivants:

- emplacement des composants des systèmes d'alarme et des systèmes d'extinction d'incendie;
- cheminements, matériaux de construction et étanchéité des canalisations;
- dans le cas de structure à toiture inflammable, il est recommandé que la méthode de protection fasse l'objet d'un accord.

2.3.2.4 Installateurs de systèmes électroniques et d'antennes extérieures

Il convient d'obtenir un accord sur les points suivants:

- équipotentialité des supports aériens et des gaines des câbles avec le système de protection;
- cheminement des câbles aériens, du réseau intérieur et installation des dispositifs communs;
- installation de parafoudres.

The clarification of responsibility for the various parties involved in the management of the design and construction of the LPS is of particular importance. An example might be where the waterproofing of the structure is punctured by roof-mounted LPS components or by earth electrode connection conductors made below the structure foundation.

2.3.2.1 Architect

Agreement should be reached on the following items:

- routing of all LPS conductors;
- materials for LPS components;
- details of all metal pipes, rain-water systems, rails and similar items;
- details of any equipment, apparatus, plant installations or the like to be installed within or near the structure and which may require bonding to the LPS. Examples of installations are alarm systems, security systems, internal telecommunication systems, signal and data processing systems, radio and TV circuits;
- extent of any buried conductive service which could affect the positioning of the earth termination network and be required to be placed at a safe distance from the LPS;
- general area available for the earth-termination network;
- extent of the work and the division of responsibility for primary fixings to the structure of the LPS. For example, those affecting the water tightness of the fabric, chiefly roofing;
- conductive materials to be used in the structure, especially any continuous metal, which may have to be bonded to the LPS, for example stanchions, reinforcing, and metal services either entering or leaving the structure or within the structure;
- visual impact of the LPS;
- impact of the LPS on the fabric of the structure;
- the location of the connection points to the reinforcing steel, especially at penetration of external conductive parts (pipes, cable shields, etc.).

2.3.2.2 Public utilities

Agreement should be reached regarding the acceptability of bonding to LPS of incoming services. Agreements made for other structures should not be relied on.

2.3.2.3 Fire and safety authorities

Agreement should be reached on the following items:

- positioning of alarm and fire extinguishing system components;
- routes, construction material and sealing of ducts;
- in the case of a structure having a flammable roof, the method of protection should be agreed.

2.3.2.4 Electronic system and external antenna installers

Agreement should be reached on the following items:

- bonding aerial supports and conductive shields of cables to the LPS;
- routing of aerial cables and internal network and installation of devices for common use;
- installation of surge protective devices.

2.3.2.5 Constructeur et installateur

Il y a lieu d'obtenir un accord sur les points suivants:

- forme, position et nombre de fixations primaires du système de protection à fournir par le constructeur;
- toute fixation fournie par le concepteur de l'IPF (l'installateur ou le fournisseur) à installer par le constructeur;
- emplacement des conducteurs du système de protection à placer sous la structure;
- si des composants du système de protection sont utilisés lors des travaux, par exemple la mise à la terre permanente pourra être utilisée pour les grues, treuils et autres matériels métalliques lors de la construction;
- pour les structures en acier, le nombre et l'emplacement des liaisons et la forme de fixation pour la connexion des dispositifs de capture et autres composants du système de protection;
- si des enveloppes métalliques, lorsqu'elles sont utilisées, sont des composants appropriés pour le système de protection;
- si des enveloppes métalliques sont appropriées, la méthode pour s'assurer de la continuité électrique des parties individuelles et la méthode pour la connexion au système de protection;
- la nature et l'emplacement des services pénétrant dans la structure sur et en dessous du sol, y compris les systèmes de convoyage, la télévision, les antennes radio et leurs supports métalliques, les tubes de foyer métalliques et les potences de nettoyage de vitres;
- la coordination entre le dispositif de capture et l'équipotentialité des services de puissance et de communication;
- l'emplacement et le nombre de mâts, de locaux communs sur le toit, par exemple locaux ascenseurs, locaux de ventilation, de chauffage et de climatisation, réservoirs d'eau et autres éléments saillants;
- la méthode de construction des toitures et cloisons afin de déterminer les moyens de fixation des conducteurs du système de protection, particulièrement pour maintenir l'étanchéité de la structure;
- la disposition d'ouvertures dans la structure pour permettre le passage libre de conducteurs de descente du système de protection;
- la disposition des connexions d'équipotentialité à l'armature acier, des barres de renforcement et autres parties conductrices de la structure;
- la fréquence des vérifications des composants du système de protection pouvant devenir inaccessibles, par exemple, barres en acier renforcées incorporées dans le béton;
- le choix le plus judicieux du métal des conducteurs en tenant compte de la corrosion, en particulier au point de contact entre différents métaux;
- l'accessibilité des points de vérification, la fourniture de protection par des enveloppes non métalliques contre les chocs mécaniques ou le vol, l'affalement de mâts ou autres objets mobiles, des facilités pour des inspections périodiques, en particulier les cheminées;
- la préparation d'un schéma comportant les détails ci-dessus et montrant l'emplacement de tous les conducteurs et les composants principaux;
- l'emplacement des points de connexion aux armatures.

2.4 Conception d'une installation extérieure de protection contre la foudre

2.4.1 Informations générales

Dans la plupart des cas, ce système de protection peut être fixé sur la structure à protéger.

Il convient d'utiliser un système de protection extérieur isolé si l'écoulement du courant de foudre dans les parties internes conductrices peut entraîner des dommages à la structure.

NOTE – Des cas typiques sont des zones à risque d'incendie ou d'explosion.

2.3.2.5 Builder and installer

Agreement should be reached on the following items with those responsible for construction of the structure and its technical equipment:

- form, position and number of primary fixings of the LPS to be provided by the builder;
- any fixings provided by the LPS designer (or the LPS contractor or the LPS supplier) to be installed by the builder;
- position of LPS conductors to be placed beneath the structure;
- whether any components of the LPS are to be used during the construction phase, for example the permanent earth-termination network could be used for earthing cranes, hoists and other metallic items during construction work on the site;
- for steel-framed structures, the number and position of stanchions and the form of fixing to be made for the connection of earth terminations and other components of the LPS;
- whether metal coverings, where used, are suitable as components of the LPS;
- where metal coverings are suitable as components of the LPS, the method of ensuring the electrical continuity of the individual parts of the coverings and their method of connecting them to the rest of the LPS;
- nature and location of services entering the structure above and below ground including conveyor systems, television and radio aerials and their metal supports, metal flues and window cleaning gear;
- coordination of the structure's LPS earth-termination system with the bonding of power and communication services;
- position and number of flag masts, roof level plant rooms; for example lift motor rooms, ventilation, heating and air-conditioning plant rooms, water tanks and other salient features;
- construction to be employed for roofs and walls in order to determine appropriate methods of fixing LPS conductors, specifically with a view to maintaining the water-tightness of the structure;
- provision of holes through the structure to allow free passage of LPS down-conductors;
- provision of bonding connections to steel frames, reinforcement bars and other conductive parts of the structure;
- frequency of inspection of LPS components which will become inaccessible; for example steel reinforcing bars encapsulated in concrete;
- most suitable choice of metal for the conductors taking account of corrosion, especially at the point of contact between dissimilar metals;
- accessibility of test joints, provision of protection by non-metallic casings against mechanical damage or pilferage, lowering of flag masts or other movable objects, facilities for periodic inspection especially for chimneys;
- preparation of drawings incorporating the above details and showing the positions of all conductors and main components;
- location of the connection points to the reinforcing steel.

2.4 Design of an external LPS

2.4.1 General information

In most cases, the external LPS may be attached to the structure to be protected.

An isolated external LPS should be used when the flow of the lightning current into bonded internal conductive parts may cause damage to the structure.

NOTE – Typical cases are areas with danger of explosion and fire.

Si les effets thermiques au point d'impact ou sur les conducteurs écoulant le courant de foudre risquent d'entraîner des dommages à la structure ou à son contenu, il convient que la distance de séparation entre les conducteurs du système de protection et les matériaux inflammables soit au moins de 0,1 m.

NOTE 1 – Des cas typiques sont:

- des structures avec revêtements combustibles;
- des structures avec parois combustibles.

NOTE 2 – L'utilisation de systèmes de protection isolés peut être appropriée s'il est prévisible que des modifications de la structure entraîneront des modifications du système de protection.

Des étincelles dangereuses entre le système de protection et les installations métalliques et électriques de télécommunication peuvent être évitées:

- dans des systèmes de protection isolés, par isolation ou séparation conformément à 3.2 de la CEI 61024-1;
- dans des systèmes de protection non isolés, par liaisons équipotentielles, conformément à 3.1 de la CEI 61024-1 ou par isolation ou séparation conformément à 3.2 de la CEI 61024-1.

L'emplacement des conducteurs d'une installation extérieure est essentiel lors de la conception et dépend de la forme de la structure à protéger, du niveau de protection prescrit et de la méthode géométrique de conception utilisée. La conception du réseau de conducteurs du dispositif de capture définit l'espace protégé de la structure et implique généralement la conception des conducteurs de descente, la mise à la terre et la conception du système intérieur de protection.

2.4.2 Conception du dispositif de capture

2.4.2.1 Généralités

Il convient que les dispositions d'un dispositif de capture satisfassent aux prescriptions du tableau 1 de la CEI 61024-1.

Pour la conception d'un dispositif de capture, il convient que les méthodes suivantes soient utilisées indépendamment ou combinées, pourvu que les zones de protection, au moyen des diverses parties du dispositif de capture, se chevauchent et assurent une protection totale de la structure conformément à 2.1.2 de la CEI 61024-1:

- angle de protection;
- sphère fictive;
- maillage.

Ces trois méthodes peuvent être utilisées pour la conception de systèmes de protection isolés. Le choix dépend d'une évaluation pratique de l'adéquation et de la vulnérabilité de la structure à protéger.

La méthode de protection peut être choisie par le concepteur du IPF. Toutefois, les considérations suivantes peuvent être judicieuses:

- la méthode de l'angle de protection est appropriée à des structures simples ou à des petites parties de grandes structures. Cette méthode n'est pas appropriée à des structures de hauteur supérieure au rayon de la sphère fictive défini par le choix du niveau de protection;
- la méthode de la sphère fictive est appropriée à des structures de formes complexes;
- la méthode du maillage est générale et est particulièrement appropriée à la protection de surfaces planes.

Il convient que la méthode de conception du dispositif de capture et les méthodes de conception du système de protection utilisées pour les diverses parties de la structure soient clairement expliquées dans le document de conception.

When the thermal effects on the point of strike or on conductors carrying the lightning current may cause damage to the structure or to the content of the volume to be protected, the spacing between LPS conductors and flammable material should be at least 0,1 m.

NOTE 1 – Typical cases are:

- structures with combustible covering;
- structures with combustible walls.

NOTE 2 – The use of an isolated LPS may be convenient where it is predicted that changes in the structure may cause modifications to the LPS.

Dangerous sparking between LPS and metal, electrical and telecommunication installations can be avoided:

- in isolated LPS by insulation or separation according to 3.2 of IEC 61024-1;
- in non-isolated LPS by equipotential bonding, according to 3.1 of IEC 61024-1, or by insulation or separation according to 3.2 of IEC 61024-1.

The positioning of external LPS conductors is fundamental to the design of the LPS and depends on the shape of the structure to be protected, the level of protection required and the geometric design method employed. The air-termination design generates the protected space of the structure and generally dictates the design of the down-conductor, the earth-termination system and the design of the internal LPS.

2.4.2 Design of the air-termination system

2.4.2.1 General

The arrangement of an air-termination system should fulfil the requirements of table 1 of IEC 61024-1.

For the design of the air-termination system the following methods should be used, independently or in any combination, provided that the zones of protection afforded by different parts of the air termination overlap and ensure that the structure is entirely protected according to 2.1.2 of IEC 61024-1:

- protective angle method;
- rolling sphere method;
- mesh size method.

All three methods may be used for the design of an LPS. The choice of a certain type of LPS depends on a practical evaluation of its suitability and the vulnerability of the structure to be protected.

The protection method may be selected by the LPS designer. However, the following considerations may be valid:

- the protective angle method is suitable for simple structures or for small parts of bigger structures. This method is not suitable for structures higher than the radius of the rolling sphere relevant to the selected protection level of the LPS;
- the rolling sphere method is suitable for complex shaped structures;
- the mesh method is for general purpose and it is particularly suitable for the protection of plane surfaces.

The air-termination design method and LPS design methods used for the various parts of the structure should be explicitly stated in the design documentation.

2.4.2.2 Méthode de l'angle de protection

Il est recommandé que les conducteurs du dispositif de capture, les tiges, les mâts et les fils soient placés de manière que toutes les parties de la structure à protéger soient à l'intérieur de la surface enveloppe générée par les points de projection des conducteurs du dispositif de capture sur le plan de référence avec un angle α par rapport à la verticale dans toutes les directions.

Il convient que l'angle de protection α soit conforme au tableau 1 de la CEI 61024-1, h étant la hauteur du dispositif de capture au-dessus de la surface à protéger.

Un point seul génère un cône. Les figures 2 et 3 de la présente norme montrent comment protéger l'espace généré par divers conducteurs au dispositif de capture de l'IPF.

Selon le tableau 1 de la CEI 61024-1, l'angle de protection α varie selon les différentes hauteurs du dispositif de capture au-dessus de la surface à protéger (voir figure 4).

La méthode de l'angle de protection possède des limites géométriques et ne doit pas être appliquée si h est plus grande que le rayon de la sphère fictive R défini dans le tableau 1 de la CEI 61024-1.

La conception de dispositifs de capture utilisant la méthode de l'angle de protection est donnée en exemple aux figures 5, 6 et 7 pour un système isolé et aux figures 8, 9 et 10 pour un système non isolé.

2.4.2.3 Méthode de la sphère fictive

Il convient d'utiliser cette méthode pour déterminer l'espace protégé de parties et de zones d'une structure lorsque le tableau 1 de la CEI 61024-1 exclut la méthode de l'angle de protection.

En appliquant cette méthode, le positionnement du dispositif de capture est approprié si aucun point du volume à protéger n'est en contact avec le rayon de la sphère R roulant sur le sol, autour et sur la structure dans toutes les directions possibles. C'est pourquoi la sphère ne doit toucher que le sol et/ou le dispositif de capture.

Il y a lieu que le rayon de la sphère fictive soit conforme au niveau de protection choisi du système de protection selon le tableau 1 de la CEI 61024-1.

Les figures 11, 12 et 13 montrent l'application de la méthode de la sphère fictive pour différentes structures. La sphère de rayon R roule autour et sur toute la structure jusqu'à rencontrer le sol ou toute structure permanente ou objet en contact avec le sol pouvant agir comme conducteur de foudre. Si la sphère fictive touche la structure, un point d'impact peut se produire et, en ces points, il est nécessaire de prévoir un conducteur de capture.

Lorsque cette méthode est utilisée sur les schémas de la structure, cette structure devra être considérée dans toutes les directions afin qu'aucune partie n'empiète dans une zone non protégée; un point peut être considéré comme oublié si seuls les schémas de coupe, de vues latérales, inférieure et supérieure sont analysés.

L'espace protégé par un conducteur du système de protection est le volume non pénétré par la sphère fictive lorsqu'elle est en contact avec le conducteur et avec la structure.

La figure 14 montre la protection réalisée par une tige de capture ou mât de hauteur physique $h_t = h$ inférieure au rayon de la sphère fictive ou par un point A d'un conducteur horizontal de capture de hauteur physique $h_t = h$ à partir du plan de référence.

Si la hauteur donnée, h , par le tableau 1 de la CEI 61024-1 est supérieure au rayon de la sphère fictive, R , la protection apportée par la tige de capture ou par un point d'un conducteur horizontal de capture est réduite à la structure sous le point B indiqué à la figure 15.

Un autre conducteur horizontal de capture doit être placé au niveau B et un dispositif de capture est nécessaire au point C si cette partie de structure doit être protégée.

2.4.2.2 Protective angle method

Air-termination conductors, rods, masts and wires, should be positioned so that all parts of the structure to be protected are inside the envelope surface generated by projecting points on the air-termination conductors to the reference plane, at an angle α to the vertical in all directions.

The protective angle α should comply with IEC 61024-1, table 1, h being the height of the air-termination above the surface to be protected.

A single point generates a cone. Figures 2 and 3 of this standard show how protected space is generated by the LPS's different air-termination conductors.

According to IEC 61024-1, table 1, the protective angle α is different for different heights of air-termination above the surface to be protected (see figure 4).

The protective angle method has geometrical limits and shall not be applied if h is larger than the rolling sphere radius R as defined in table 1 of the IEC 61024-1.

The design of air-terminations using the protective angle air-termination design method is also shown in figures 5, 6 and 7 for an isolated LPS and in figures 8, 9 and 10 for a non-isolated LPS, respectively.

2.4.2.3 Rolling sphere method

The rolling sphere method should be used to identify the protected space of parts and areas of a structure when table 1 of IEC 61024-1 excludes the use of the protective angle method.

Applying this method, the positioning of an air-termination system is adequate if no point of the space to be protected is in contact with a sphere with radius R rolling on the ground, around and on to top of the structure in all possible directions. Therefore the sphere shall touch only the ground and/or the air-termination system.

The radius of the rolling sphere should comply with the selected protection level of the LPS according to the IEC 61024-1, table 1.

Figures 11, 12 and 13 show the application of the rolling sphere method to different structures. The sphere of radius R is rolled around and over all the structure until it meets the ground plane or any permanent structure or object in contact with the earth plane which is capable of acting as a conductor of lightning. Where the rolling sphere touches the structure, a strike could occur and at such points protection by an air-termination conductor is required.

When the rolling sphere method is applied to drawings of the structure, the structure should be considered from all directions to ensure that no part protrudes into an unprotected zone, a point which might be overlooked if only front, side and plan views on drawings are considered.

The protected space generated by an LPS conductor is the volume not penetrated by the rolling sphere when it is in contact with the conductor and applied to the structure.

Figure 14 shows the protection afforded by an air-termination rod or mast with a physical height, $h_t = h$, which is less than the radius R of the rolling sphere or a point A on an LPS horizontal air-termination conductor at a physical height, $h_t = h$, from the plane of reference.

When the applied height h , in IEC 61024-1, table 1, is greater than rolling sphere radius R the protection afforded by the air-termination rod or point on a horizontal air-termination conductor is restricted to the structure below point B as indicated in figure 15.

Another horizontal air-termination conductor should be placed at level B and an air-termination is required at point C if it is a part of the structure to be protected.

Dans le cas de deux conducteurs parallèles horizontaux de capture situés au-dessus du plan de référence de la figure 16, la distance de pénétration, p , de la sphère fictive dans l'espace situé en dessous et entre les conducteurs a lieu d'être calculée comme suit:

$$p = R - [R^2 - (d/2)^2]^{1/2}$$

La distance de pénétration p devra être inférieure à h_t .

L'exemple de la figure 16 est aussi valable pour les tiges à trois ou quatre dispositifs de capture. Par exemple, quatre tiges verticales situées aux coins d'un carré et ayant la même hauteur h ; dans ce cas, d à la figure 16 correspond à la diagonale du carré formé par les quatre tiges.

2.4.2.4 Méthode du maillage

Pour la protection de surfaces planes, un maillage est considéré comme protégeant l'ensemble de la surface si les conditions suivantes sont satisfaites:

- a) les conducteurs de capture sont:
 - sur des extrémités;
 - sur des parois;
 - sur des bords de toitures si la pente dépasse 1/10;
- b) les surfaces latérales de la structure pour des hauteurs supérieures au rayon de la sphère fictive appropriée (voir tableau 1) sont équipées de dispositifs de capture;
- c) les dimensions des mailles du réseau de capture ne sont pas supérieures aux valeurs indiquées dans le tableau 1;
- d) le réseau de capture est réalisé de manière que le courant de foudre se répartisse toujours entre au moins deux chemins métalliques distincts vers la terre et qu'aucune installation métallique ne dépasse le volume protégé par le dispositif de capture;
- e) les conducteurs de capture suivent des chemins aussi directs et courts que possible.

NOTE – Des exemples complémentaires de conception de maillages d'un système de protection non isolé sont indiqués à la figure 17b pour une structure à toiture en pente et à la figure 17a pour une toiture en terrasse.

2.4.2.5 Choix du type de dispositif de capture

La CEI 61024-1 ne donne pas de critère pour le choix du dispositif de capture car elle considère les tiges, les fils tendus et les mailles comme équivalents.

Il est possible de dire que:

- un dispositif de capture constitué de tiges est préférable pour un système de protection isolé et pour des structures simples et de petites dimensions ainsi que pour des petites parties de grandes structures. Il convient que la hauteur de tiges non isolées soit inférieure à quelques mètres (2 m à 3 m) afin d'éviter un accroissement de fréquence de coups de foudre. Les tiges ne sont pas appropriées à des structures de hauteur supérieure au rayon de la sphère fictive relative au niveau de protection choisi;
- un dispositif de capture constitué de fils tendus peut être préférable dans tous les cas précédents et pour des structures étroites et longues ($a / b \geq 4$);
- un dispositif de capture constitué de mailles est d'usage général.

2.4.3 Conception des conducteurs de descente

2.4.3.1 Données générales

Il est recommandé que le choix du nombre et de la disposition des conducteurs de descente prenne en compte le fait qu'en cas de répartition du courant de foudre dans ces conducteurs, le risque de coup de foudre latéral et de perturbations électromagnétiques dans la structure est réduit. Par conséquent il convient que les conducteurs de descente soient autant que possible uniformément répartis sur le périmètre de la structure et de manière symétrique.

In the case of two parallel horizontal LPS air-termination conductors placed above the horizontal reference plane in figure 16, the penetration distance p of the rolling sphere below the level of the conductors in the space between the conductors should be calculated:

$$p = R - [R^2 - (d/2)^2]^{1/2}$$

The penetration distance p should be less than h_t .

The example shown in figure 16 is also valid for three or four air-termination rods. For example, four vertical rods placed at the corners of a square and having the same applied height h . In this case, d in figure 16 corresponds to the diagonals of the square formed by the four rods.

2.4.2.4 Mesh method

For the purpose of protecting flat surfaces, a mesh is considered to protect the whole surface if the following conditions are fulfilled:

- a) air termination conductors are positioned on:
 - roof edge lines,
 - roof overhangs,
 - roof ridge lines, if the roof slope exceeds 1/10;
- b) the lateral surfaces of the structure at levels higher than the value of the radius of the relevant rolling sphere (see table 1), is equipped with air-termination systems;
- c) the mesh dimensions of the air-termination network are not greater than the values given in table 1;
- d) the network of the air-termination system is accomplished in such a way that the lightning current will always encounter at least two distinct metal routes to the earth air-termination; no metal installation protrudes outside the volume protected by air-termination systems;
- e) the air-termination conductors follow as far as possible short and direct routes;

NOTE – Examples of a non-isolated LPS using the air-termination mesh method design are shown in figure 17b for a sloped-roof structure and in figure 17a for a flat-roof structure.

2.4.2.5 Choice of the type of air-termination system

IEC 61024-1 does not provide any criteria for the choice of the air-termination system because it considers rods, stretched wires and meshed conductors as equivalent.

It is possible to say that:

- an air-termination system composed of rods is preferred for an isolated LPS and for simple structures of small dimensions or for small parts of large structures. The height of non-isolated rods should be less than a few metres (2 m to 3 m) in order to avoid any increase in frequency of direct lightning flash. The rods are not suitable for structures higher than the radius of the rolling sphere relevant to the selected protection level of the LPS;
- an air-termination system composed of stretched wires can be preferred in all previous cases and for short, long shaped structures ($a / b \geq 4$);
- air termination systems composed of meshed conductors are for general purpose.

2.4.3 Design of down-conductors

2.4.3.1 General data

The choice of number and position of down-conductors should take into account the fact that, if the lightning current is shared in several down-conductors, the risk of side flash and of electromagnetic disturbances inside the structure is reduced. It follows that, as far as possible, the down-conductors should be uniformly placed along the perimeter of the structure and with a symmetric configuration.

Le partage du courant est amélioré non seulement par l'augmentation du nombre des conducteurs de descente, mais aussi par les ceinturages d'équipotentialité.

Il est préférable de placer les conducteurs de descente aussi loin que possible des circuits internes et des parties métalliques afin d'éviter la nécessité d'une liaison d'équipotentialité avec l'installation intérieure.

Il convient de rappeler que:

- les conducteurs de descente doivent être aussi courts que possible (inductance la plus faible possible);
- la distance moyenne entre les conducteurs de descente est indiquée dans le tableau 3 de la CEI 61024-1;
- la géométrie des conducteurs de descente et des ceinturages a une influence sur la valeur de la distance de sécurité (voir 2.7.1);
- dans les structures en encorbellement, la distance de sécurité doit être évaluée en tenant compte du risque de coup de foudre latéral pour les personnes (voir 2.7.4).

2.4.3.2 Nombre de conducteurs de descente pour un système de protection isolé

- a) Si le dispositif de capture est constitué de tiges sur des mâts distincts (une par mât), au moins un conducteur de descente par mât est nécessaire. Dans le cas de mâts métalliques ou d'interconnexion de renforcement en acier, aucune mesure de protection complémentaire n'est nécessaire.
- b) Si le dispositif de capture est constitué de un ou plusieurs fils tendus, au moins un conducteur de descente est nécessaire à chaque extrémité de fil.
- c) Si le dispositif de capture constitue un réseau de conducteurs, au moins un conducteur de descente est nécessaire, pour chaque structure porteuse.

2.4.3.3 Nombre de conducteurs de descente pour un système de protection non isolé

- a) Si le dispositif de capture est constitué d'une tige, au moins un conducteur de descente est nécessaire – Si le dispositif de capture est constitué de tiges individuelles, au moins un conducteur de descente par tige est nécessaire.
- b) Si le dispositif est constitué de fils tendus, au moins un conducteur de descente est nécessaire à chaque extrémité.
- c) Si le dispositif de capture est constitué de conducteurs maillés, au moins deux conducteurs de descente sont nécessaires, répartis autour du périmètre de la structure à protéger.

2.4.4 Conception de la prise de terre

2.4.4.1 Généralités

La prise de terre doit présenter une configuration appropriée afin d'éviter des valeurs de tension de pas et de contact considérées comme dangereuses.

Afin d'écouler le courant de foudre à la terre sans entraîner des surtensions dangereuses, les formes et dimensions de la prise de terre sont plus importantes qu'une valeur spécifique de la résistance de prise de terre. Toutefois, une valeur faible de résistance de prise de terre est recommandée.

Du point de vue de la protection contre la foudre, une seule prise de terre intégrée à la structure est préférable et est recommandée dans tous les cas (par exemple protection contre la foudre, installations à basse tension et de télécommunication).

The current sharing is improved not only by increasing of the number of down-conductors but also by equipotential interconnecting rings.

It is preferred that the down-conductors are placed as far as possible from internal circuits and metallic parts in order to avoid the need for equipotential bonding with the internal LPS.

It should be remembered that:

- the down-conductors must be as short as possible (to keep inductance as small as possible);
- the average distance between down-conductors is shown in table 3 of IEC 61024-1;
- the geometry of down-conductors and equipotential interconnecting rings has an influence on the value of safety distance (see 2.7.1);
- in the cantilevered structures the safety distance shall also be evaluated with reference to the risk of side-flashing to persons (see 2.7.4).

2.4.3.2 Number of down-conductors for isolated LPS

- a) If the air-termination system 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.
- b) If the air-termination system consists of stretched wires (or one wire), at least one down-conductor is needed at each wire end.
- c) If the air-termination system forms a network of conductors, at least one down-conductor is needed for each supporting structure.

2.4.3.3 Number of down conductors for non-isolated LPS

- a) If the air-termination system consists of one rod, at least one down-conductor is needed. If the air-termination consists of individual rods, at least one down-conductor for each rod is needed.
- b) If the air-termination system consists of stretched wires, at least one down-conductor is needed at each wire end.
- c) If the air-termination system consists of meshed conductors, at least two down-conductors are needed, distributed around the perimeter of the structure to be protected.

2.4.4 Design of earth termination system

2.4.4.1 General

The earth termination system shall have a suitable configuration to avoid values of step and touch voltages that conventionally are considered dangerous.

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).

La prise de terre doit être connectée conformément à 3.1.2 de la CEI 61024-1.

NOTE 1 – Les conditions de séparation et de raccordement avec les autres prises de terre sont définies par les autorités nationales.

NOTE 2 – Des problèmes importants de corrosion peuvent apparaître si des prises de terre en matériaux de nature différente sont connectées.

La CEI 61024-1 permet deux types de prises de terre: type A et type B.

2.4.4.2 Disposition de type A

Une disposition de type A est appropriée à un système de protection avec dispositif de capture à tiges ou fils tendus ou à un système de protection isolé.

Cette disposition comprend des électrodes horizontales ou verticales connectées à chaque conducteur de descente.

S'il existe un ceinturage interconnectant les conducteurs de descente, en contact avec le sol, la disposition est toujours classée comme disposition de type A si moins de 80 % de sa longueur est en contact avec le sol.

Dans une disposition de type A, le nombre minimal d'électrodes de terre doit être de deux.

2.4.4.3 Disposition de type B

Une disposition de type B est préférable pour un dispositif de capture à mailles et pour les systèmes de protection avec plusieurs conducteurs de descente.

Cette disposition comprend soit une prise de terre en boucle extérieure à la structure en contact avec le sol sur une longueur d'au moins 80 % de la boucle soit une prise de terre à fond de fouille.

2.4.4.4 Positionnement des électrodes de terre

La profondeur et le type des électrodes doivent minimiser les effets de la corrosion, de l'assèchement du sol ou du gel et ainsi de conserver une résistance de terre stable.

Il est recommandé que le premier mètre d'une électrode verticale ne soit pas considéré comme fiable dans des conditions de gel.

Dans le cas de sols rocheux solides, seule une disposition de type B est recommandée.

Les électrodes enfouies profondément pourront être fiables dans des cas particuliers lorsque la résistivité du sol décroît avec la profondeur et si des couches de faible résistivité apparaissent à des profondeurs plus grandes que pour des électrodes normalement enfouies.

Si des armatures de béton sont utilisées comme prise de terre, un soin particulier doit être apporté aux connexions afin d'éviter l'explosion du béton.

NOTE – Dans le cas de béton précontraint, il convient d'appeler l'attention sur les conséquences du passage de courants de foudre et des contraintes mécaniques afférentes.

Il convient que le concepteur et l'installateur du système de protection choisissent des prises de terre appropriées et les situent à des distances sûres des entrées et sorties d'une structure et des éléments conducteurs dans le sol. Il est recommandé de disposer les conducteurs de descente conformément à 2.2 de la CEI 61024-1. Il y a lieu que le concepteur et l'installateur prennent en compte les tensions de pas dangereuses à proximité des prises de terre, si elles sont situées dans des zones accessibles au public (voir article 8).

Earth-termination systems shall be bonded in accordance with 3.1.2 of IEC 61024-1.

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

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

IEC 61024-1 allows two different configurations of earth-termination systems: type A and type B.

2.4.4.2 Type A arrangement

The type A earth termination system is suitable for an LPS with rods or stretched wires or for an isolated LPS.

This type of arrangement comprises horizontal or vertical earth electrodes connected to each down-conductor.

Where there is a ring conductor which interconnects the down-conductors, in contact with the soil, the earth electrode arrangement is still classified as type A if the ring conductor is in contact with the soil for less than 80 % of its length.

In a type A arrangement the minimum number of earth electrodes shall be two.

2.4.4.3 Type B arrangement

The type B earth termination system is preferred for meshed air-termination systems and for LPS with several down-conductors.

This type of arrangement comprises either a ring earth electrode external to the structure in contact with the soil for at least 80 % of its total length or a foundation earth electrode.

2.4.4.4 Positioning of earth electrodes

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.

Deep-driven earth electrodes can be effective in special cases where soil resistivity decreases with depth and where substrata of low resistivity occur at depths greater than those to which rod electrodes are normally driven.

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.

The LPS designer and the LPS installer should select suitable types of earth electrodes and should locate them at safe distances from entrances and exits of a structure and to the external conductive parts in the soil. The down-conductors should be located in accordance with 2.2 of IEC 61024-1. The LPS designer and the LPS installer should make special provisions for protection against dangerous step voltages in the vicinity of the earth-termination networks if they are installed in areas accessible to the public (see clause 8).

2.5 Conception d'une installation intérieure de protection contre la foudre

2.5.1 Informations générales

Les prescriptions pour cette installation sont données à l'article 3 de la CEI 61024-1.

Le système de protection extérieur et ses liaisons aux parties conductrices et aux installations intérieures déterminent, en général, la nécessité d'un système de protection intérieur.

Une consultation avec les autorités et les parties concernées est essentielle pour l'équipotentialité.

Il convient que le concepteur et l'installateur prêtent attention au fait que ces mesures sont obligatoires afin de réaliser une protection appropriée et que l'acheteur en soit informé.

2.5.2 Distance de sécurité

Il y a lieu de maintenir une distance de séparation appropriée, supérieure à la distance de sécurité donnée par 3.2 de la CEI 61024-1, entre le système de protection extérieur et toutes les parties conductrices reliées à l'équipotentialité de la structure.

Il est recommandé que non seulement les parties conductrices de la structure et les équipements installés dans cette structure soient reliés à la liaison équipotentielle, mais aussi que les conducteurs de puissance et de communication y soient connectés.

La distance de sécurité peut être évaluée par la formule indiquée en 3.2 de la CEI 61024-1 avec une valeur de k_c calculée pour une distance de 20 m entre conducteurs de descente (niveau de protection III).

Pour des distances entre conducteurs de descente autres que 20 m et pour des installations symétriques, il convient que l'évaluation de k_c soit effectuée conformément à 2.7.1.

Il convient que la longueur de référence l pour le calcul de la distance de sécurité d (voir 3.2 de la CEI 61024-1) soit la distance entre le point de connexion à l'équipotentialité et tout autre point proche.

Dans les structures utilisant des conducteurs naturels de descente, par exemple armatures du béton, il convient que le point de référence soit le point de connexion au conducteur naturel de descente.

Dans le cas de:

- structures en béton armé avec interconnexions renforcées en acier;
- structures métalliques;
- structures avec équivalence d'écran;
- système de protection extérieur isolé;

la liaison équipotentielle ne doit être réalisée qu'au niveau du sol.

NOTE – Dans des cas particuliers, une liaison équipotentielle peut être nécessaire sur la toiture.

Dans le cas de structures industrielles, les parties conductrices de la structure et de la toiture peuvent être généralement utilisées comme écran électromagnétique et comme conducteurs naturels de descente et appartiennent à l'équipotentialité.

Pour les structures dont les surfaces extérieures ne comportent pas d'éléments conducteurs, par exemple en bois ou en briques, il convient que la longueur totale l des conducteurs de protection contre la foudre qui est la distance entre le point d'impact de la foudre le plus défavorable et le point de connexion de l'équipotentialité intérieure au conducteur de descente et à la terre soit utilisée pour calculer la distance de sécurité d , conformément à 3.2 de la CEI 61024-1.

2.5 Design of an internal LPS

2.5.1 General information

The requirements for the design of the internal lightning protection system are given in clause 3 of IEC 61024-1.

The external lightning protection system and its relationship to conductive parts and installations inside the structure will determine, to a large extent, the need for an internal lightning protection system.

Consultation with all authorities and parties concerned with equipotential bonding is essential.

The LPS designer and the LPS installer should draw attention to the fact that these measures are mandatory in order to achieve adequate lightning protection, and the purchaser be notified accordingly.

2.5.2 Safety distance

An adequate separation distance exceeding the safety distance determined according to 3.2 of IEC 61024-1, should be maintained between the external LPS and all conductive parts connected to the equipotential bonding of the structure.

Not only the conductive parts of the structure and of the equipment installed therein should be connected to the equipotential bonding but also the conductors of the power supply system and of the communication equipment.

The safety distance may be evaluated by the formula shown in 3.2 of IEC 61024-1 where the k_c value has been calculated for a down-conductor distance of 20 m (protection level III).

For down-conductor distances other than 20 m and for symmetrical installations, evaluation of k_c should be performed according to 2.7.1.

The reference length l for the calculation of the safety distance d , see 3.2 of IEC 61024-1, should be the distance between the connection point to the equipotential bonding and the point of proximity.

In structures where the building components are used as natural down-conductors, for example steel reinforcement in concrete, the reference point should be the connection point to the natural down-conductor.

In the case of:

- reinforced concrete structure with interconnected reinforcing steel;
- steel frame structure;
- structure with equivalent screening performance;
- isolated external LPS;

the equipotential bonding shall be established only at ground level.

NOTE – In special cases equipotential bonding could be necessary at roof level.

In the case of industrial structures, conductive parts of the structure and of the roof may be generally used as electromagnetic shield and as natural down-conductors and may be a means of equipotential bonding.

Structures whose outer surfaces do not contain conductive elements, such as structures of wood or brickwork should use the overall distance along the lightning protection conductors l from the most unfavourable lightning strike point to the point where the equipotential bonding system of the internal installation is connected to the down-conductor and to the earth-termination system for calculation of the safety distance d , according to 3.2 of IEC 61024-1.

Les figures 18, 19 et 20 illustrent la détermination de la distance critique l pour le calcul de la distance de sécurité d , selon 3.2 de la CEI 61024-1.

S'il n'est pas possible de maintenir la distance de séparation supérieure à la distance de sécurité tout au long du parcours, il y a lieu de réaliser aussi l'équipotentialité du système de protection au point le plus éloigné du point de référence (voir figure 18b).

C'est pourquoi il convient que le cheminement des conducteurs de puissance soit ou bien revu conformément aux prescriptions relatives à la distance de sécurité (voir 3.2 de la CEI 61024-1) ou bien que les conducteurs de puissance soient entourés par un écran conducteur relié au point le plus éloigné du point de référence.

Si l'équipotentialité est réalisée au point de référence et au point le plus éloigné, les conditions de proximité sont satisfaites tout au long du parcours.

Les conducteurs de toiture et les connexions des tiges de capture peuvent être fixés au toit par des séparateurs ou fixations conducteurs ou non conducteurs. Selon 2.2.4 de la CEI 61024-1, les conducteurs peuvent être situés sur une paroi si elle est en matériau non combustible.

Les détails de fixation des conducteurs de capture sont indiqués aux figures 21a, 21b et 21c pour une toiture d'une structure en pente et à la figure 22 pour une toiture-terrasse.

Les points suivants sont souvent critiques et nécessitent une attention particulière:

- Dans le cas d'importantes structures, la distance de sécurité entre les conducteurs du système de protection et les parties métalliques est souvent tellement grande qu'elle ne peut être respectée. Ceci implique une équipotentialité supplémentaire du système de protection à ces parties conductrices. Ainsi, une partie du courant de foudre s'écoulera à travers ces éléments vers la prise de terre de la structure.
- Il convient que l'interférence électromagnétique due à ces parties de courant soit prise en compte dans la conception des installations et la définition des zones de protection électromagnétique dans la structure selon la CEI 61312-1.

Cependant, cette interférence sera nettement plus faible que celle due à une étincelle en ce point.

La figure 23 montre la conception de conducteurs intérieurs de descente dans une vaste structure industrielle.

Dans le cas de toits, la distance de séparation s entre le système de protection et les installations électriques est souvent plus courte que la distance de sécurité d , donnée en 3.2 de la CEI 61024-1. Dans ce cas, il convient d'essayer d'établir l'IPF ou le conducteur électrique en un lieu différent.

Il convient de conclure un accord avec les responsables de l'installation électrique pour prévoir un autre cheminement des circuits électriques qui ne sont pas en conformité avec la distance de sécurité par rapport aux conducteurs de capture de la structure.

Si une installation électrique ne peut être modifiée, il convient de réaliser l'équipotentialité avec l'IPF extérieure, selon 3.2 de la CEI 61024-1.

2.5.3 Conducteurs d'équipotentialité

Il y a lieu que les conducteurs d'équipotentialité supportent le passage d'une partie du courant de foudre.

Figures 18, 19 and 20 illustrate how the critical length l used for calculation of the safety distance d , according to 3.2 of IEC 61024-1, is measured on an LPS.

When it is not possible to maintain the separation distance greater than the safety distance d along the whole length of the considered installation, bonding of the installation to the LPS should be performed also at the most distant point from the reference bonding point (see figure 18b).

Therefore the electric conductors should either be re-routed in accordance with the requirements of the safety distance (see 3.2 of IEC 61024-1) or the electrical conductors should be enclosed in a conductive shield which should be bonded to the LPS at the most distant part from the reference bonding point.

When bonding of installations to the LPS is performed at the reference point and the most distant point, the proximity condition should be fulfilled along the whole path of the installation.

Conductors on roofs and the connections of air-termination rods may be fixed to the roof using either conductive or non-conductive spacers and fixtures. According to 2.2.4 of IEC 61024-1, the conductors may also be positioned on the surface of the wall if the wall is made of non-combustible material.

Figures 21a, 21b and 21c show examples of the construction details of fixtures for air-termination conductors on the sloped roof of a structure and in figure 22 an example of the construction details of fixtures on a flat roof is shown.

The following points are often critical and require particular consideration:

- In the case of larger structures the safety distance between the LPS conductors and the metal installations is often so large that it cannot be implemented. This involves additional bonding of the LPS to these metal installations. In consequence, a portion of the lightning current flows via these metal installations to the earth-termination system of the structure.
- Electromagnetic interference occurring as a result of these partial currents should be taken into account when planning the structure installations and designing the lightning protection electromagnetic zones inside the structure according to IEC 61312-1.

However, the interference will be significantly lower than that caused by an electrical spark at this point. Figure 23 shows the design of internal down-conductors in a large industrial structure.

In the case of roofs, the separation distance s between the LPS and the electrical installations is often found to be shorter than the safety distance d given in 3.2 IEC 61024-1. If so, an attempt should be made to install the LPS or the electrical conductor on a different place.

An agreement should be reached with the person responsible for the electrical installation to perform a re-routing of electrical circuits which do not comply with the safety distance to the air-termination conductors on structures.

When the electrical installation cannot be re-routed, bonding to the external LPS should be carried out in accordance with 3.2 of IEC 61024-1.

2.5.3 Bonding conductors

Bonding conductors should withstand part of the lightning current flowing through them.

Les conducteurs d'équipotentialité connectant des parties métalliques dans la structure ne supportent normalement pas une partie importante du courant de foudre. Il convient que leurs dimensions satisfassent le tableau 1 de la CEI 61024-1.

Les conducteurs d'équipotentialité connectant des parties conductrices extérieures au système de protection supportent habituellement une partie importante du courant de foudre.

Il est recommandé que les conducteurs d'équipotentialité soient dimensionnés pour supporter le courant de foudre calculé en 2.7.2. ou que leur valeur minimale soit conforme au tableau 6 de la CEI 61024-1.

2.5.4 Parafoudres

Il convient que les parafoudres supportent la partie de courant de foudre susceptible de les traverser sans les endommager.

Il est recommandé de choisir des parafoudres selon les règles appropriées (à l'étude).

Les valeurs suivantes de courants nominaux peuvent être considérées comme appropriées:

- Parafoudre pour des installations électriques intérieures: $I_n \geq 10 \text{ kA}$ (onde 8/20 μs)
Des parafoudres ne sont pas nécessaires pour des câbles blindés mis à la terre à chaque extrémité et dont la section de blindage est supérieure à 10 mm².
- Parafoudre pour des installations électriques pénétrant dans la structure:

$$I_n \geq I_f / n'$$

où

I_f est la partie du courant de foudre dans une phase évaluée conformément à 2.7.2 et

n' est le nombre total de conducteurs de phase.

Un parafoudre n'est pas nécessaire pour des câbles blindés de section non inférieure à la valeur minimale calculée en 2.7.3 et dont le blindage est connecté au système de protection.

NOTE – Une élévation de température inacceptable pour l'isolation des conducteurs peut apparaître si le courant de foudre dans le conducteur est supérieur à:

$I_f = 8A$ pour les conducteurs blindés;

$I_f = 8n' A'$ pour des conducteurs non blindés;

où

I_f est le courant de foudre s'écoulant dans le blindage, en kiloampères;

n' est le nombre de conducteurs;

A est la section du blindage, en millimètres carrés;

A' est la section de chaque conducteur, en millimètres carrés.

Il convient que le parafoudre supporte les parties de courant de foudre tels que calculés et il faut qu'il satisfasse aux tensions maximales résiduelles dues aux chocs de foudre (il convient aussi que le parafoudre soit capable de couper le courant de suite de l'alimentation s'il est connecté aux conducteurs de puissance).

Il y a lieu que la tension maximale admissible de tenue aux chocs à travers le parafoudre, voir figure 24, à l'origine d'une structure soit coordonnée avec la tension de tenue aux chocs, le niveau d'isolation principale du système et la tension maximale admissible de tenue aux chocs de l'équipement.

Il est recommandé que le parafoudre à l'entrée de la structure limite la pénétration de l'énergie de choc dans les parties conductrices internes de la structure.

Conductors bonding metal installations internal to the structure normally do not carry a significant part of the lightning current. Their dimensions should comply with table 1 of IEC 61024-1.

Conductors bonding external conductive parts to the LPS usually carry a substantial part of the lightning current.

Bonding conductors should be dimensioned so that they withstand the lightning current calculated according to 2.7.2 or the minimum value should comply with table 6 of IEC 61024-1.

2.5.4 Surge protective devices

Surge protective devices (SPD) should withstand the prospective part of the lightning current flowing through them without being damaged.

The selection of SPD should be performed according to relevant rules (under consideration).

The following values of nominal currents can be considered suitable:

- SPD for internal electrical installations: $I_n \geq 10$ kA for 8/20 μ s impulse current.
SPD are not required for shielded cables with cross-section of the shield greater than 10 mm², bonded to both ends.
- SPD for electrical installations entering the structure:

$$I_n \geq I_f / n'$$

where

I_f is the part of the lightning current through the line evaluated according to 2.7.2;

n' is the total number of line conductors

SPD are not required for shielded cables, with shields bonded to the LPS and a cross-section of the shield not lower than the minimum value calculated as in 2.7.3.

NOTE – Unacceptable temperature rise for the insulation of the line may occur if the lightning current relevant to the line is greater than:

$I_f = 8A$ for screened lines;

$I_f = 8n' A'$ for non-screened lines;

where

I_f is the lightning current flowing on the screen in kiloamperes;

n' is the number of line conductors;

A is the cross-section of the screen in square millimetres;

A' is the cross-section of each line conductor in square millimetres.

The SPD should withstand the partial lightning currents as calculated, and must fulfil the demands on maximum residual voltages caused by lightning surges (the SPD should also have the ability to extinguish electric power follow-on currents from the power supply if they are connected to the electric power conductors).

The maximum permissible surge voltage across an SPD, see figure 24, at the entrance of a structure should be coordinated with the insulation withstand impulse voltage, the basic insulation level of the system involved and the maximum permissible surge voltage to the equipment.

SPD at the entrance of the structure should prevent the main surge energy from entering the internal conductive parts of the structure.

Il convient que le parafoudre avec la tension résiduelle la plus faible soit installé à l'entrée de la structure. Dans le cas contraire, un filtre passe-bas approprié pourra être inséré entre le parafoudre à l'entrée de la structure et celui installé à proximité de l'équipement à protéger.

Un parafoudre avec tension résiduelle élevée, associé à un filtre passe-bas approprié, appelé suppresseur, peut être installé, si nécessaire, à proximité ou dans l'équipement à protéger.

Afin d'assurer un fonctionnement correct de plusieurs parafoudres dans un système de télécommunication, une impédance série peut être connectée entre le parafoudre à l'entrée de la structure et celui à proximité ou dans l'équipement à protéger.

Voir les exemples d'installation des parafoudres aux figures 24 et 25.

Il y a lieu de porter une attention particulière aux différences entre les surtensions en mode commun dans les installations de puissance à basse tension et de télécommunication connectées aux équipements électroniques.

Voir les exemples de calculs de cheminement pour le cas I (figure 26) et le cas II (figure 27), de l'article B.2 de l'annexe B, définissant les effets des renforcements en acier.

Les surtensions peuvent aussi être limitées par des écrans métalliques et des cheminements corrects des câbles.

Il convient de n'adopter l'installation de parafoudres que si d'autres mesures sont insuffisantes ou difficiles à réaliser (afin de réduire les coûts de maintenance et de réduire les dysfonctionnements du système).

Il est recommandé que les parafoudres sur les alimentations des équipements électroniques à basse tension soient toujours installés en aval d'un fusible ou d'un disjoncteur qui coupent automatiquement en cas de courant élevé.

Une variante au fusible est le parafoudre à plusieurs branches afin d'éviter l'arrêt de l'équipement en cas de fonctionnement du fusible.

Il y a lieu de connecter le parafoudre aux bornes d'équipotentialité par des conducteurs courts.

La chute de tension dans le parafoudre et ses conducteurs de liaison a deux composantes, la chute de tension U_A dans le parafoudre et la chute de tension U_L dans les conducteurs. Les valeurs maximales de ces deux composantes n'apparaissent pas simultanément. Toutefois, il convient que la somme de ces tensions soit inférieure à la tension maximale admissible de choc, U_{max} , entre les conducteurs actifs et la borne (voir figure 28).

Il est recommandé aux constructeurs de matériels électriques et électroniques de considérer la coordination de répartition d'énergie entre les divers parafoudres lors de la conception de leurs matériels.

2.5.5 Installation électrique faisant saillie hors du volume protégé

Il convient que le mât d'antenne sur le toit d'une structure soit relié au dispositif de capture. Il y a lieu d'utiliser un câble coaxial.

Il convient que le câble d'antenne pénètre dans la structure au point d'entrée commun à tous les services ou à proximité de la barre d'équipotentialité de l'installation principale. Il est recommandé que la gaine conductrice du câble d'antenne soit reliée à cette barre d'équipotentialité (voir figure 29). Afin de réduire les surtensions, il y a lieu d'installer des parafoudres sur les appareils.

Il y a lieu que les enveloppes métalliques de toiture pour lesquelles la distance de sécurité ne peut être maintenue soient reliées au dispositif de capture, aux éléments conducteurs des fixations de toiture et aux écrans conducteurs des matériels électriques, conformément au tableau 6 en 3.1.2 de la CEI 61024-1.

La figure 30 est un exemple de méthode de connexion d'une fixation de toit avec des parties conductrices à une installation électrique et au dispositif de capture d'une structure.

SPD with the lowest residual voltage should be installed at the entrance of the structure. If not, an appropriate low-pass filter could be inserted between the SPD at the entrance of the structure and the SPD installed near the equipment to be protected.

SPD with high residual voltage, combined with an appropriate low-pass filter, so-called surge suppressing devices, may be installed near or within the equipment to be protected if necessary.

To ensure the proper functioning of a combined set of SPD in communication systems, a series impedance may be connected between the SPD at the entrance of the structure and the SPD near or inside the equipment to be protected.

See the example of SPD installation shown in figures 24 and 25.

Special attention should be paid to the difference of the common mode surge voltages between the low voltage power installations and the communication lines which are connected to electronic equipment.

See calculated examples on electric conductors routing for case I (figure 26) and case II (figure 27) in clause B.2 of annex B, showing the effect of steel reinforcing.

Surge voltages may also be controlled by metallic shielding measures and by proper cable routing.

The installation of an SPD should be adopted where other measures are not sufficient or difficult to realize (so as to reduce the costs of the LPS maintenance and reduce the risk of malfunction of the system).

SPD in low-voltage power supplies of electronic equipment should always be installed after a fuse or an automatic circuit-breaker which disconnects the equipment if excessive current is drawn.

An alternative position for the fuses is in the current-diverting branches of the SPD circuit, to avoid shutdown of the equipment when the fuses operate.

SPD should be connected to the bonding bar by short bonding conductors.

The voltage drop across the SPD and the bonding conductor consists of two components, the voltage drop across the SPD U_A and the voltage drop across the bonding conductor U_L . The maximum values of these two voltage components do not occur simultaneously. However, the sum of these two voltages should be lower than the maximum permissible surge voltage, U_{max} , between the live conductor and the bonding bar (see figure 28).

The manufacturers of the electric and electronic equipment should consider energy diversion harmonization between the various SPDs when designing surge protection of their equipment.

2.5.5 Electrical installation protruding from the space to be protected

The antenna mast on the roof of a structure should be bonded to the air-termination system. A coaxial antenna cable should be used.

The antenna cable should enter the structure at the common entrance for all services or near the main LPS bonding bar. The antenna cable conductive sheath should be bonded to the LPS main bonding bar (see figure 29). To reduce overvoltage, SPDs should be installed on the apparatus.

Roof fixtures housing electrical equipment for which the safety distance cannot be maintained, should be bonded to the air-termination system and to the conductive elements of the roof fixtures and the conductive shield of its electrical equipment in accordance with table 6 in 3.1.2 of IEC 61024-1.

Figure 30 is an example of the method of bonding a roof fixture with conductive parts to an electrical installation and the air-termination of a structure.

2.6 Prescriptions électriques et mécaniques

2.6.1 Conception électrique

Il est recommandé au concepteur de l'IPF de choisir le type approprié de système de protection pour obtenir la réalisation la plus fiable. Cela signifie la prise en compte par l'architecte de la structure de l'installation de protection contre la foudre isolée ou non isolée, ou d'une combinaison des deux types de systèmes de protection.

Il y a lieu de réaliser les essais de résistivité du sol avant la conception du système de protection et de prendre en compte ses variations saisonnières.

Après la définition électrique du système, il convient que l'utilisation de parties conductrices de la structure considérées comme composants naturels renforce ou fasse partie de composants du système.

L'évaluation des propriétés électriques et physiques des composants naturels du système de protection pour assurer qu'ils satisfont aux prescriptions minimales de la CEI 61024-1 est de la responsabilité du concepteur de l'IPF.

L'utilisation d'armature métallique, comme le béton armé, comme conducteurs de protection pour le système nécessite une attention particulière et la connaissance des normes nationales de construction applicables à la structure à protéger est essentielle. L'armature métallique du béton armé peut être utilisée comme conducteurs d'écoulement de foudre ou peut être utilisée comme une couche conductrice armée pour réduire les champs électromagnétiques induits par la foudre dans la structure, les courants de foudre s'écoulant dans des systèmes de protection isolés. Ce dernier type de protection peut être préféré, en particulier pour les structures à usage particulier comportant des installations denses électriques et électroniques.

Une spécification de construction stricte pour les conducteurs de descente est nécessaire pour satisfaire les prescriptions minimales des composants naturels données en 2.2.5 de la CEI 61024-1 (voir annexe A).

2.6.2 Conception mécanique

Il est recommandé au concepteur de consulter les personnes responsables de la structure sur les conceptions mécaniques après la réalisation d'installations électriques.

Des considérations esthétiques sont particulièrement importantes ainsi que le choix des matériaux pour limiter le risque de corrosion.

Les dimensions minimales des composants des différentes parties du système de protection sont données dans les tableaux 2, 5, 6 et 7 de la CEI 61024-1.

Les matériaux utilisés pour les composants du système de protection sont donnés dans le tableau 4 de la CEI 61024-1.

D'autres composants tels que tiges ou fixations peuvent être choisis selon les règles nationales. Le concepteur doit prévoir les élévations de température et la tenue mécanique de ces composants afin d'assurer la fiabilité du système de protection. Puisque des dimensions minimales sont spécifiées, la charge excessive de ces composants sera évitée.

Si des déviations sont faites pour les dimensions et les matériaux spécifiés dans les tableaux 5, 6 et 7 de la CEI 61024-1, utilisant les paramètres de décharge électrique conformément au niveau de protection choisi dans la CEI 61024-1-1, il convient que le concepteur ou l'installateur prévienne l'élévation de température des conducteurs du système de protection en fonctionnement en décharge et qu'il les dimensionne de manière appropriée.

Si une élévation de température excessive concerne la surface adjacente des composants en raison de son inflammabilité et d'un point de fusion bas, il convient que des sections plus élevées de conducteurs soient spécifiées ou que d'autres dispositions de sécurité soient prises, telles que fixations, insertion de couches résistantes au feu.

2.6 Electrical and mechanical requirements

2.6.1 Electrical design

The LPS designer should select the appropriate type of LPS to obtain the most efficient construction. This means consideration of the architectural design of the structure and if an isolated or non-isolated LPS, or a combination of both types of lightning protection should be used.

Soil resistivity tests should be performed preferably prior to finalising the design of an LPS and should take into consideration the seasonal variations of soil resistivity.

Following the completion of the basic electrical design of the LPS, the use of suitable conductive parts of the structure should be considered as natural components of the LPS to enhance, or to act as essential components of the LPS.

The evaluation of the electrical and physical properties of natural components of the LPS to ensure that they comply with the minimum requirements of IEC 61024-1, is the responsibility of the LPS designer.

The use of metal reinforcing, like steel reinforced concrete, as lightning protection conductors requires careful consideration, and knowledge of the national construction standards applicable to the structure to be protected is essential. The steel skeleton of reinforced concrete may be used as LPS conductors or may be used as a conductive shielding layer to reduce the electromagnetic fields generated by lightning in the structure as the lightning currents are conducted through an isolated LPS. This last type of LPS makes protection easier, in particular for special structures containing extensive electrical and electronic installations.

A stringent construction specification for down-conductors is required in order to meet the minimum requirements for natural components given in 2.2.5 of IEC 61024-1 (see annex A).

2.6.2 Mechanical design

The lightning protection designer should consult with the persons responsible for the structure, on mechanical design matters following the completion of the electrical design.

Aesthetic considerations are particularly important as well as the correct selection of materials to limit the risk of corrosion.

The minimum size of lightning protection components for the various parts of the LPS are listed in tables 2, 5, 6 and 7 of IEC 61024-1.

The materials used for the LPS components are listed in table 4 of IEC 61024-1.

Other components like rods and clamps may be selected in accordance with national standards. The lightning protection designer shall predict temperature rise and mechanical strength of such components to assure the relevance of the LPS. Since minimum sizes are specified the excessive loading of such components will be avoided.

Where deviations are made from the dimensions and materials specified in tables 5, 6 and 7 of IEC 61024-1, using the lightning discharge electrical parameters complying with the selected lightning protection level given in IEC 61024-1-1, the lightning protection designer or installer should predict the temperature rise of lightning conductors under discharge conditions and they should dimension them accordingly.

When excessive temperature rise is a concern for the surface to which the components are to be attached because it is flammable or has a low melting point, either larger conductor cross-sections should be specified, or other safety precautions should be considered, such as the use of stand-off fittings, insertion of fire-resistant layers.

Il y a lieu que le concepteur identifie les zones à problème pour la corrosion et spécifie les mesures appropriées.

Les effets de la corrosion sur le système de protection peuvent être réduits soit par augmentation des dimensions des matériaux, soit par utilisation de composants résistant à la corrosion ou par d'autres méthodes anti-corrosives.

Il est recommandé au concepteur et à l'installateur de spécifier les fixations des conducteurs qui résistent aux contraintes électrodynamiques du courant de foudre et de permettre la dilatation et la contraction des conducteurs dues aux écarts de température.

2.6.3 Exemples de conception de système de protection extérieur

A la figure 37, plusieurs exemples de conception de système de protection extérieur sont donnés, les lignes pointillées indiquant un conducteur naturel de foudre.

Une conception analogue pour les dispositifs de capture et les conducteurs de descente peut être appliquée à tout type de structure; toutefois, il convient que la distance entre les conducteurs soit toujours satisfaisante au niveau de la protection et soit conforme aux tableaux 1 et 3 de la CEI 61024-1.

La conception d'un tel système de protection sur un toit étagé peut être particulière et un exemple est donné à la figure 31.

2.7 Calculs pour la conception

2.7.1 Evaluation du coefficient k_c

Le coefficient de répartition k_c du courant de foudre entre les conducteurs de descente dépend du nombre n des conducteurs de descente, de leur emplacement et des ceinturages, du type de dispositif de capture et de prise de terre tel qu'indiqué au tableau 2 et aux figures 33 et 34.

2.7.2 Courant de foudre s'écoulant dans les parties conductrices extérieures et les services pénétrant dans la structure

Lorsqu'il s'écoule à la terre, le courant de foudre se divise dans la prise de terre, les parties conductrices extérieures et les lignes, soit directement ou par des parafoudres installés sur ces lignes. La partie I_f du courant de foudre s'écoulant dans chaque partie conductrice extérieure ou ligne dépend du nombre, de la résistance de terre équivalente de terre du système de capture.

$$I_f = \frac{ZI}{n_1 Z + Z_1}$$

où

Z est la résistance de terre équivalente du dispositif de capture (tableau 3)

Z_1 est la résistance de terre équivalente des parties conductrices extérieures ou des lignes (tableau 3);

n_1 est le nombre total des parties extérieures ou des lignes;

I est le courant de foudre correspondant au niveau de protection.

NOTE – Il convient que les lignes téléphoniques ne soient pas considérées dans l'évaluation de n_1 .

The LPS designer should identify all corrosion problem areas and specify appropriate measures.

The corrosion effects on the LPS may be reduced either by increases in material size or using corrosion resistive components, or by taking other corrosion protection measures.

The LPS designer and the LPS installer should specify conductor fasteners and fixtures which will withstand the electrodynamic forces of lightning current in the conductors and also allow for the expansion and contraction of conductors due to the relevant temperature rise.

2.6.3 Examples of design of external LPS

In figure 37 several examples are given of external LPS designs, the broken line in all diagrams indicates a natural lightning conductor.

A similar design of air-terminations and down-conductors may also be applied to all kinds of structures, however, the distance between the lightning conductors should always comply with the lightning protection level according to table 1 and table 3 of IEC 61024-1.

Design of the external LPS on a shedded roof structure may be special and an example is given in figure 31.

2.7 Design calculation

2.7.1 Evaluation of the coefficient k_c

The partitioning coefficient k_c of the lightning current amongst the down-conductors depends on the overall number n and on the position of the down-conductors and on the interconnecting ring conductors, on the type of air-termination system and on the type of earth termination system as shown in table 2 of this guide and in figures 33 and 34.

2.7.2 Lightning current flowing through external conductive parts and installations entering the structure

When finding a route to earth, the lightning current divides itself between the earth termination system, the external conductive parts and the entering lines, directly or via SPD connected to them. The part I_f of the lightning current relevant to each external conductive part or line depends on their number, their equivalent earth resistance and on the equivalent earth resistance of the earth termination system:

$$I_f = \frac{Z I}{n_1 Z + Z_1}$$

where

Z is the equivalent earth resistance of the earth termination system (table 3);

Z_1 is the equivalent earth resistance of the external parts or lines (table 3);

n_1 is the overall number of external parts or lines;

I is the lightning current relevant to the considered protection level.

NOTE – Telephone lines should be disregarded in the evaluation of n_1 .

Si les lignes ne sont pas blindées, ou ne cheminent pas dans des conduits métalliques, chaque conducteur écoule une partie du courant de foudre égale à I_f / n' , n' étant le nombre total de conducteurs de ligne.

Si les paramètres du tableau 3 (niveaux de protection, résistivité du sol) ne sont pas connus, une valeur approximative est donnée par:

$$I_f = \frac{I}{n_1} 0,5$$

2.7.3 Section minimale de l'écran d'un câble

Les surtensions entre les conducteurs actifs et l'écran d'un câble dues au courant de foudre s'écoulant dans l'écran dépendent du matériau et des dimensions de l'écran, de la longueur et de l'emplacement du câble.

La valeur minimale A_{\min} de la section d'écran pour laquelle le câble ne nécessite pas de parafoudre est donnée par:

$$A_{\min} = \frac{I_f \rho_c l_c 10^6}{U_c} \text{ mm}^2$$

où

I_f est le courant s'écoulant dans l'écran du câble, en kiloampères (kA);

ρ_c est la résistivité de l'écran, en ohm mètres ($\Omega \cdot m$);

l_c est la longueur du câble, en mètres (m) (voir tableau 4);

U_c est la tension de tenue aux chocs du câble, en kilovolts (kV) (voir tableau 5)

2.7.4 Structures en encorbellement

Dans le cas de structures en encorbellement, la distance de séparation s , en mètres, doit satisfaire à la condition suivante:

$$s > 2,5 + d \text{ m}$$

où d est la distance de sécurité en mètres calculée selon 3.2 de la CEI 61024-1.

La valeur 2,5 est équivalente à la hauteur du bout des doigts d'une main tendue verticalement, voir figure 36.

Des boucles réentrantes pour un conducteur peuvent induire des chutes de tension inductives élevées facilitant le passage de l'énergie de foudre à travers une structure et entraînant des dommages.

Il y a lieu de prendre des dispositions pour un cheminement direct aux points de réentrée des boucles si les conditions de 2.2.4 (dernier alinéa) et de 3.2, conformément à la figure 1 de la CEI 61024-1, ne sont pas satisfaites.

3 Construction du système de protection extérieur

3.1 Dispositif de capture

3.1.1 Informations générales

La température maximale admissible des conducteurs sur des toitures non inflammables ne sera pas dépassée si les dimensions des sections sont conformes au tableau 5 de la CEI 61024-1.

Les métaux à faible conductivité, tel l'acier inoxydable, peuvent nécessiter des sections plus élevées.

If lines are unscreened, or not routed in metal conduits, each conductor carries a part of lightning current equal to I_f / n' , n' being the total number of line conductors.

When the parameters, in table 3 (protection levels, resistivity of the soil) are not known, as a rough estimation the following value can be assumed:

$$I_f = \frac{I}{n_1} 0,5$$

2.7.3 Minimum cross-section of the shield of a cable

The overvoltages between the active conductors and the shield of a cable due to the lightning current carried by the shield, depend on the material and on the dimensions of the shield, on the length and the positioning of the cable.

The minimum value A_{\min} of the cross-section of the shield for which the cable does not require SPD installation is given by:

$$A_{\min} = \frac{I_f \rho_c I_c 10^6}{U_c} \text{ mm}^2$$

where:

I_f is the current flowing on the shield in kiloamperes (kA);

ρ_c is the resistivity of the shield in ohmmetres ($\Omega \cdot \text{m}$);

I_c is the cable length in metres (m) (see table 4);

U_c is the impulse withstand voltage of the cable in kilovolts (kV) (see table 5).

2.7.4 Structure with cantilevered part

In the case of structures with cantilevered construction, the separation distance s in metres shall satisfy the following condition:

$$s > 2,5 + d \text{ m}$$

where d is the safety distance in metres calculated according to 3.2 of IEC 61024-1.

The value 2,5 is equivalent to the height of the tips of a man's fingers when he stretches his hand vertically (see figure 36).

Re-entrant loops in a conductor can produce high inductive voltage drops which can cause a lightning discharge to pass through a structure wall thereby causing damage.

Arrangements should be made for direct routing through the structure at the points of re-entrant lightning conductor loops if the conditions in 2.2.4 (last paragraph) and 3.2 according to figure 1 of IEC 61024-1 are not fulfilled.

3 Construction of an external LPS

3.1 Air-termination system

3.1.1 General information

The maximum permissible temperature for a conductor on a non-flammable roof will not be exceeded if the cross-section complies with table 5 of IEC 61024-1.

Metals of low conductivity, such as stainless steel, may necessitate the use of larger conductor cross-sections.

Il convient qu'une toiture constituée de matériaux inflammables soit protégée des échauffements dangereux du courant de foudre par les mesures suivantes:

- réduction de la température des conducteurs par augmentation des sections des conducteurs;
- accroissement de la distance entre conducteurs et revêtement de toiture;
- ajout d'une couche de protection contre la chaleur entre les conducteurs et les matériaux inflammables.

3.1.2 Dispositif de capture non isolé

Afin d'assurer une protection appropriée, il convient que les conducteurs de capture sur les toitures soient installés conformément à 2.1.2 de la CEI 61024-1.

Il est recommandé que les conducteurs de capture et les conducteurs de descente soient interconnectés au moyen de conducteurs de toiture conformément aux tableaux 1 et 3 de la CEI 61024-1.

Les points de fixation recommandés pour ces conducteurs sont indiqués au tableau 6.

Sur les maisons et structures analogues avec arête de toiture, il y a lieu qu'un conducteur de toiture soit installé sur l'arête, de laquelle partent au moins deux conducteurs de descente aux coins opposés de la structure.

Les gouttières en bord de toiture peuvent être utilisées comme conducteurs naturels si elles sont conformes à 2.1.4 de la CEI 61024-1.

Les figures 21a, 21b et 21c montrent des dispositions des conducteurs de toiture et de descente pour une structure avec toiture en pente.

Dans le cas de structures en longueur, il convient d'installer des conducteurs de toiture supplémentaires selon les tableaux 1 et 3 de la CEI 61024-1, et de les connecter aux conducteurs de capture montés en arête de toiture.

Il y a lieu de fixer le conducteur d'arête de toiture au toit au moyen de supports. Sur un côté de la toiture, un conducteur de toiture est relié au conducteur de descente.

Autant que possible, il convient de réaliser un cheminement direct des conducteurs de capture, de connexion et de descente.

Pour les toitures non conductrices, le conducteur peut être placé soit sous, ou de préférence, sur les tuiles. Bien que leur installation sous les tuiles présente l'avantage de la simplicité et moins de risque de corrosion, il est préférable de les installer au-dessus des tuiles (c'est-à-dire à l'extérieur), par des moyens de fixation fiables, réduisant ainsi le risque de dommage en cas de coup de foudre direct sur ces conducteurs et facilitant la vérification. Il y a lieu que les conducteurs situés sous les tuiles soient fournis avec de courtes pointes apparaissant au dessus du toit et leur espacement ne devrait pas dépasser 10 m sauf si des parties métalliques appropriées peuvent être utilisées (voir figure 38).

Sur des structures avec terrasses, il convient d'installer les conducteurs de toiture sur les arêtes extérieures de toiture, autant que possible.

Si la surface de toiture dépasse la dimension de la maille définie dans le tableau 1 de la CEI 61024-1, il y a lieu d'installer des conducteurs de capture supplémentaires.

La figure 39 montre l'emplacement du système extérieur de protection sur une structure en matériau isolant, par exemple bois ou briques en terrasses. Les fixations de toiture appartiennent à l'espace à protéger. Sur des structures de hauteur supérieure à 20 m, une ceinture d'équipotentialité sur la façade relie tous les conducteurs de descente. Le détail A montre un exemple de barre d'essai permettant une vérification de continuité.

Il convient que les conducteurs du système de protection soient mécaniquement fixés de manière à pouvoir supporter les contraintes dues au vent et au temps et les travaux sur la toiture.

A roof constructed from flammable material should be protected from the dangerous effect of lightning current heating the LPS conductors by the following measures:

- reducing the temperature of the conductors by increasing the cross-section;
- increasing the distance between the conductors and the roof covering;
- inserting a heat-protective layer between the conductors and the flammable material.

3.1.2 Non-isolated air-termination

In order to provide adequate protection, air-termination conductors on the roof should be installed in accordance with 2.1.2 of IEC 61024-1.

Air-termination conductors and down-conductors should be interconnected by means of conductors in accordance with table 1 and table 3 of IEC 61024-1.

Recommended fixing centres for these conductors are shown in table 6.

On houses and similar structures with a roof-ridge, a roof conductor should be installed on the roof-ridge, from which at least two conductors should be routed to the two down-conductors at opposite corners of the structure.

The gutters at the edge of the roof may be used as natural conductors when complying with 2.1.4 of IEC 61024-1.

Figures 21a, 21b and 21c depict an example of the arrangement of the conductors on a roof and down-conductors for a sloped roof structure.

In the case of long structures, additional conductors should be installed in accordance with tables 1 and 3 of IEC 61024-1, and should be connected to the air-termination conductors mounted on the roof ridge.

The roof-ridge conductor should be fixed to the roof by means of conductor supports. On the side of the roof a conductor is connected to the down conductor.

As far as practical, air-termination conductors, connecting conductors, and down-conductors should be installed in a straight route.

On non-conducting roofs, the conductor may be placed either under or, preferably, over the tiles. Although mounting it under the tiles has the advantage of simplicity and less risk of corrosion, it is better, where adequate fixing methods are available, to install it along the top of the tiles (i.e. externally) so reducing the risk of damage to the tiles should the conductor receive a direct strike and also simplifying inspection. Conductors placed below the tiles should preferably be provided with short vertical finials which protrude above roof level and are spaced not more than 10 m apart unless appropriate exposed metal plates may be used (see figure 38).

On structures with flat roofs, the perimeter conductors should be installed as close to the outer edges of the roof as practicable.

When the roof surface exceeds the mesh size stipulated in table 1 of IEC 61024-1, additional air-termination conductors should be installed.

Figure 39 shows the positioning of the external LPS on a structure with a flat roof made of insulating material, such as wood or bricks. The roof fixtures are within the space to be protected. On structures exceeding 20 m in height an equipotentialization ring connected to all down-conductors is installed on the façade. Detail A shows an example of the test joint design which facilitates electrical continuity tests.

All LPS conductors should be mechanically secured so that they should be capable of withstanding stress due to wind or weather and due to work carried out on the roof surface.

Le revêtement métallique utilisé pour la protection mécanique extérieure des murs peut être utilisé comme dispositif de capture naturel, selon 2.1.4 ou 2.2.5 de la CEI 61024-1, si aucun risque d'inflammation par fusion n'existe.

Les revêtements conducteurs de toiture non conformes à 2.1.4 a) de la CEI 61024-1 peuvent être utilisés comme conducteurs de capture si la fusion au point d'impact de la foudre peut être acceptée.

Sinon, le revêtement conducteur de toiture devra être protégé par un dispositif de capture de hauteur suffisante (voir figures 16 et 40).

Si des supports isolants sont utilisés, il convient que la distance de sécurité soit respectée selon 3.2 de la CEI 61024-1.

Lorsque des supports conducteurs sont utilisés, il convient que la connexion à la toiture supporte une partie du courant de foudre (voir figure 40).

La figure 22 montre un exemple de dispositif naturel de capture utilisant un parapet de toiture comme conducteur de capture en bordure du toit.

Les structures à encorbellement ou proéminentes de la toiture doivent être protégées au moyen de tiges de capture ou en alternative, il convient que les parties métalliques extérieures soient connectées au système de protection.

Une structure nue en acier est décrite en figure 42. L'armature en acier dans le béton est utilisée comme composant naturel du système de protection.

3.1.2.1 Protection des toitures de garages multi-étages contre la foudre

Les voitures les passagers entrant et sortant de leurs véhicules garés sur la toiture de garages multi-étages sont exposés aux coups de foudre directs.

Si l'étage supérieur doit être protégé contre les coups de foudre directs, des tiges de capture et des dispositifs aériens doivent être utilisés.

Si des montants de capture sont utilisés pour la protection de l'étage supérieur (voir figure 44), les personnes et véhicules situés dans ce garage ne sont pas protégés contre la foudre.

Pour la détermination de la distance de sécurité, une approximation est donnée par la hauteur du dispositif de capture des figure 16.

Dans le cas de conducteurs verticaux, la mise hors de portée doit être prise en compte. La distance nécessaire peut être obtenue au moyen de barrières ou de câbles de protection.

Il y a lieu de prévoir des avertissements aux entrées pour attirer l'attention sur le risque de foudre en cas d'orage.

La tension de pas et la tension de contact peuvent ne pas être considérées si la toiture est recouverte d'une couche d'asphalte d'au moins 5 cm.

3.1.2.2 Toitures-terrasses en béton armé non accessibles aux personnes

Sur de telles toitures, il y a lieu d'installer les dispositifs de capture comme indiqué à la figure 43. Pour le ceinturage du toit, le parapet métallique peut être utilisé comme indiqué en figures 22 et 45.

Si un dommage mécanique temporaire de l'étanchéité est acceptable, le maillage de capture de terrasse peut être remplacé par des conducteurs naturels de capture constitués par des renforts en acier dans le béton conformément à 2.1.4 b) de la CEI 61024-1, ou les conducteurs de capture peuvent être directement fixés sur le toit en béton.

Metal covering which is provided for mechanical protection of outer walls, should be used as natural components of the air-termination, according to 2.1.4 or 2.2.5 of IEC 61024-1, if there is no risk of fire ignition by melting metal.

Roof coverings of conductive sheet which do not comply with 2.1.4 a) of IEC 61024-1, may be used as air-terminations where melting at the point of lightning strike can be accepted.

If not, the conductive roof sheeting should be protected by an air-termination system of sufficient height (see figures 16 and 40).

When insulating supports are used, the conditions for the safety distance to the conductive sheet, stipulated in 3.2 of IEC 61024-1, should be fulfilled.

When conductive supports are used, the connection to the roof-sheet should withstand partial lightning current (see figure 40).

Figure 22 shows an example of a natural air-termination using a roof parapet as the air-termination conductor at the edge of the roof area.

Flush-mounted and protruding structures in the roof surface should be protected by means of air termination rods; alternatively, extraneous metalwork should be bonded to the LPS.

A steel skeleton structure is depicted in figure 42. The steel reinforcement in concrete walls is used as a natural component of the LPS.

3.1.2.1 Lightning protection for multi-storey car park roofs

Cars and car passengers leaving and entering their cars which are parked on the roof of multi-storey car parks are exposed to direct lightning strikes.

If the topmost parking area is to be protected against direct lightning strike, air-termination rods and overhead air-termination wires shall be employed.

If air-termination studs are used as air-terminations on the topmost parking area, (see figure 44), the persons and vehicles on this parking area are not protected against lightning.

For determination of the safety clearance, an approximation is given by the height of the air-termination conductors in figure 16.

In the case of vertical conductors, the area possible to reach by hand shall be taken into account. The necessary safety clearance can be achieved either by provision of barriers or of protective wiring.

Signs should be provided at the entrances which draw attention to the danger of lightning strike during thunderstorms.

The step and touch voltage may be disregarded if the roof is covered by a layer of asphalt of at least 5 cm thickness.

3.1.2.2 Flat-roofed, steel-reinforced concrete structures not accessible to the public

On a flat roof not accessible to the public, air terminations should be installed as shown in figure 43. For the equipotential ring conductor on the roof, the metal cladding on the roof parapet may be used as shown in figures 22 and 45.

When temporary mechanical damage of the water-proof layer on the roof of a structure is tolerated, the air-termination mesh covering the flat area of the roof may be replaced with natural air-termination conductors consisting of steel reinforcement bars in concrete according to 2.1.4 b) of IEC 61024-1 or the LPS air-termination conductors may be fixed directly on the concrete roof.

Selon les connaissances actuelles, l'efficacité de ce ceinturage naturel est équivalente à celle d'un conducteur nu, c'est pourquoi ce ceinturage incorporé dans le béton peut être utilisé comme dispositif de capture si les prescriptions de 2.1.4 b) de la CEI 61024-1 sont satisfaites.

En général, un coup de foudre sur une toiture armée endommage la couche étanche. La pluie peut alors entraîner la corrosion des armatures et des dommages conséquents. Si une diminution de la contrainte mécanique contre la corrosion n'est pas permise, il y a lieu d'installer un dispositif de capture pour éviter tout impact sur la structure armée.

Les figures 43 et 44 donnent deux exemples de dispositifs de capture reliés à l'armature du béton du toit pour éviter les dommages d'étanchéité de la couche de surface.

Il convient d'utiliser le revêtement métallique prévu pour la protection extérieure mécanique des murs comme dispositif de capture naturel, selon 2.2.5 de la CEI 61024-1, si aucun risque d'inflammation par fusion n'existe.

Les revêtements conducteurs de toiture non conformes à 2.1.4 de la CEI 61024-1 peuvent être utilisés comme dispositifs de capture lorsque la fusion au point d'impact de la foudre peut être tolérée.

Sinon, il y a lieu que le revêtement conducteur de toiture soit protégé par un dispositif de capture de hauteur suffisante, voir figures 16 et 40.

Si des supports isolants sont utilisés, il convient que la distance de sécurité soit respectée selon 3.2 de la CEI 61024-1. Lorsque des supports conducteurs sont utilisés, il convient que la connexion à la toiture supporte une partie du courant de foudre (voir figure 46).

La figure 22 montre un exemple de dispositif naturel de capture utilisant un parapet de toiture comme conducteur de capture en bordure du toit.

S'il est acceptable que des morceaux cassés de béton, jusqu'à 100 mm, puissent tomber de la structure et endommager de manière temporaire la façade, selon 2.1.4 b) de la CEI 61024-1 il est permis de remplacer le ceinturage de toiture par un ceinturage naturel constitué d'un armement du béton.

3.1.2.3 Structure blindée appropriée

Les murs extérieurs d'une structure peuvent être utilisés comme blindage électromagnétique afin de protéger les équipements électriques et électroniques dans la structure.

La figure 42 donne un exemple de structure en béton armé utilisant l'armature comme conducteurs de descente et comme blindage électromagnétique pour l'espace circonscrit. Pour plus de détails, voir la CEI 61312-1.

A l'intérieur du domaine du dispositif de capture, sur le toit, il convient que toutes les parties conductrices dont au moins une dimension est supérieure à 1 m soient maillées. Il y a lieu de connecter ce maillage au dispositif de capture au bord du toit et aux autres points définis en 3.1 de la CEI 61024-1.

Il convient de n'utiliser les parties conductrices incorporées dans la toiture comme dispositif de capture naturel que dans les conditions de 2.1.4 b), de la CEI 61024-1, car un coup de foudre entraîne souvent la destruction de l'étanchéité des composants de toiture au-dessus des éléments conducteurs (voir 3.1.2.2).

Les parties métalliques ne remplissant pas les conditions des dispositifs de capture stipulées en 2.1.4 et 2.2.5 de la CEI 61024-1 peuvent cependant être utilisées comme conducteurs de descente dans la zone du toit.

Les figures 22 et 45 montrent la construction de dispositifs de capture sur des structures à ossature conductrice utilisant le parapet comme dispositif naturel de capture et l'ossature métallique comme conducteurs naturels de descente.

Dans la figure 45, deux exemples montrent la continuité naturelle des composants d'un système de protection.

En raison de la réduction de la taille du maillage par rapport au tableau 1 de la CEI 61024-1, le courant de foudre se répartit dans plusieurs conducteurs parallèles donnant lieu à une faible impédance électromagnétique, et, conformément à 3.2 de la CEI 61024-1, les distances de sécurité sont réduites et les distances de séparation entre installations et système de protection sont plus faciles à réaliser.

According to present knowledge, the interception efficiency of steel reinforced concrete is, in practice, equivalent to the interception efficiency of a bare conductor, therefore the steel reinforcement in concrete may be used as air-termination providing the requirements of 2.1.4 b) of IEC 61024-1 are satisfied.

In general, a lightning strike to the reinforcement of a concrete roof will damage the waterproof layer. Rain water may then cause corrosion of the steel-reinforcing rods and cause damage. If reduction in the mechanical strength of concrete due to the corrosion is not permitted an air-termination system should be installed to prevent direct lightning strikes to the steel-reinforced concrete.

Figures 43 and 44 show two examples of air-terminations connected to the reinforcement of a concrete roof to prevent damage of the waterproof layer.

Metal covering which is provided for mechanical protection of outer walls, should be used as a natural component of the air-termination, according to 2.2.5 of IEC 61024-1, if there is no risk of fire ignition by melting metal.

Roof coverings of conductive sheet which do not comply with 2.1.4 of IEC 61024-1, may be used as air terminations where melting at the point of lightning strike can be tolerated. If not, the conductive roof sheeting should be protected by an air-termination system of sufficient height, see figures 16 and 40.

When insulating supports are used, the conditions for the safety distance to the conductive sheet, stipulated in 3.2 of IEC 61024-1, should be fulfilled. When conductive supports are used the connection to the roof-sheet should withstand partial lightning current (see figure 46).

Figure 22 shows an example of a natural air-termination using a roof parapet as the air-termination conductor at the edge of the roof area.

When it is acceptable for shattered parts of up to 100 mm of broken concrete to fall down from the structure and temporarily damage the façade, 2.1.4 b) of IEC 61024-1 permits the ring conductor on the roof to be replaced by a natural ring conductor consisting of steel reinforcement in concrete.

3.1.2.3 Provision of adequate structure shielding

The outer walls and roof of a structure may be used as an electromagnetic shield in order to protect electrical and information processing equipment within the structure.

Figure 42 provides an example of a steel-reinforced concrete structure using the interconnected reinforcing steel as down-conductors and as electromagnetic shielding of the enclosed space. For more details see IEC 61312-1.

Within the domain of the air-termination system on the roof, all conductive parts having at least one dimension larger than 1 m should be interconnected to form a mesh. The meshed shield should be connected to the air-termination system at the roof edge and also at other points within the roof area in accordance with 3.1 of IEC 61024-1.

Conductive elements within the body of roofing components should only be used as natural air-terminations under the conditions in 2.1.4 b) of IEC 61024-1. A lightning strike often leads to destruction of the water-proof insulation of the parts of the roofing components above the conductive parts (see 3.1.2.2).

Metal parts which do not satisfy the conditions of air-terminations stipulated in 2.1.4 and 2.2.5 of IEC 61024-1, may, however, be used as down-conductors within the domain of the roof area.

Figures 22 and 45 show the construction of air-terminations on structures having conductive skeletons using a roof parapet as a natural air-termination and the steel skeleton as natural down-conductors.

In figure 45 two examples are given on how to provide electrical continuity of natural components in an LPS.

As a result of the reduced mesh size of steel structures compared with table 1 of IEC 61024-1, the lightning current is distributed over more parallel conductors, resulting in a low electromagnetic impedance and consequently in accordance with 3.2 of IEC 61024-1, the safety distances are reduced and the necessary separation distances between the installations and the LPS are much more easily obtained.

Dans la plupart des structures, les toits sont les parties les moins blindées de la structure. Il convient de porter une attention particulière à l'amélioration du blindage de la toiture.

Si aucun élément conducteur n'est incorporé dans la toiture, le blindage peut être amélioré par la réduction des espaces entre conducteurs de toiture.

3.1.2.4 Protection de fixations de toitures affleurantes ou en saillie sans installations conductrices

Il convient que les tiges de capture pour la protection de fixation de toitures métalliques affleurantes ou présentant des parties proéminentes soient à une hauteur telle que les fixations à protéger se situent totalement dans l'espace de protection de la sphère fictive sans la toucher, ou dans le cône de protection de la méthode angulaire du tableau 1 de la CEI 61024-1. Il convient que la distance de séparation entre les tiges de capture et les fixations de toiture satisfasse aux conditions de proximité de 3.2 de la CEI 61024-1.

Les figures 46 et 47 donnent des exemples de protection de fixations de toiture par la méthode de l'angle de protection. Il y a lieu que la valeur de l'angle de protection corresponde au niveau de protection donné au tableau 1 de la CEI 61024-1.

Les fixations métalliques de toiture, non protégées par des tiges de capture, ne nécessitent pas de protection complémentaire si leurs dimensions sont inférieures aux suivantes:

- hauteur au-dessus du toit 1,0 m
- surface totale de la superstructure 1,0 m²

Les fixations de toit non conductrices qui ne sont pas dans le volume protégé par les tiges de capture et qui ne dépassent pas de plus de 1 m la surface formée par le dispositif de capture n'ont pas besoin d'être protégées au moyen de conducteurs de capture.

Les éléments conducteurs tels que conducteurs électriques ou canalisations métalliques, cheminant depuis des fixations de toiture affleurantes jusqu'à l'intérieur du bâtiment, peuvent écouler un courant de foudre considérable dans le bâtiment. Si de telles connexions conductrices existent, les fixations en saillie sur la toiture ont lieu d'être protégées par des dispositifs de capture, voir 3.1.2.5. Si la protection au moyen de dispositifs de capture n'est pas possible ou est onéreuse, des parties isolées de longueur correspondant au moins à deux fois la distance de sécurité peuvent être installées dans les installations conductrices (par exemple canalisations d'air comprimé).

Il convient de protéger les cheminées en matériau isolant par des tiges ou des ceinturages de capture si elles ne sont pas déjà dans l'espace protégé. La tige de capture d'une cheminée a lieu d'être à une hauteur telle que la cheminée complète appartienne à l'espace protégé par la tige.

Un coup de foudre dans une cheminée non conductrice est possible si la cheminée n'est pas dans l'espace protégé par un dispositif de capture car la surface interne de la cheminée est recouverte de suie, dont la conductivité, même en l'absence de pluie, est capable de conduire un canal de décharge de grande longueur.

La figure 21b montre la construction d'une tige de capture sur une cheminée en briques isolantes.

Les fixations de toiture métalliques affleurantes conviennent d'être reliées au dispositif de capture si la distance nécessaire conforme à la distance de sécurité définie en 3.2 de la CEI 61024-1 ne peut être maintenue.

3.1.2.5 Protection de fixations de toiture incluant des matériels électriques ou informatiques

Il convient que toutes les fixations de toiture isolantes ou conductrices comportant des matériels électriques et/ou informatiques se situent dans l'espace protégé par le dispositif de capture.

Un coup de foudre direct sur les matériels situés dans l'espace protégé n'est pas probable.

Un coup de foudre direct sur une fixation de toiture conduit non seulement à la destruction de cette fixation, mais aussi à des dommages aux équipements électriques et électroniques connectés aussi bien à la fixation de toiture qu'à l'intérieur du bâtiment.

In most structures the roofs are the less shielded parts of a structure. Therefore particular attention should be paid to improve the shielding efficiency of roof constructions.

When no conductive structural elements are incorporated in the roof, shielding may be improved by reducing the spacing of the roof conductors.

3.1.2.4 Protection of flush-mounted or protruding roof fixtures without conductive installations

Air-termination-rods for the protection of metal flush-mounted roof fixtures or protruding roof fixtures should be of such a height that the fixture to be protected lies fully within the rolling sphere protection space of the air-termination rod, is not touched by the rolling sphere or is fully within the cone of the protective angle in accordance with table 1 of IEC 61024-1. The separation distance between the air-termination rods and the roof fixtures should be such that the proximity condition stipulated in 3.2 of IEC 61024-1 is satisfied.

Figures 46 and 47 show examples of roof fixture protection by air-termination rods using the protective angle air-termination design method. The value of the protective angle should be consistent with the protection level of the LPS stipulated in table 1 of IEC 61024-1.

Metal roof fixtures, not protected by air-termination rods, do not require additional protection if their dimensions do not exceed the following:

- height above the roof level 1,0 m
- the total area of the superstructure 1,0 m²

Non-conductive roof fixtures which are not within the protected volume by termination rods and which do not protrude by more than 1 m above the surface formed by the air termination system do not require additional protection from air-termination conductors.

Conductive installations, such as electrical conductors or metallic pipes, which lead from flush-mounted roof fixtures into the interior of the building, can conduct a considerable portion of the lightning current on a lightning strike into the interior of the building. Where such conductive connections exist, the protruding fixtures in the roof surface should be protected by air termination systems (see 3.1.2.5). If protection by means of air-termination systems is not possible or is not economic, insulated parts, whose length correspond to at least twice the specified safety clearance, can be installed in the conductive installations (e.g. compressed air pipes).

Chimneys of insulating material should be protected by means of air-termination rods or air-termination rings, when they are not within the protective space of an air-termination system. The air-termination rod on a chimney should be of such height that the complete chimney lies within the protective space of the rod.

A lightning strike to a non-conductive chimney is possible when the chimney is not situated within the protective space of an air-termination system, due to the fact that the inner surface of the chimney is covered by a soot deposit whose conductivity is such that, even in the absence of rain, it is capable of conducting the current of a streamer discharge of great length.

Figure 21b shows the construction of an air-termination rod on a chimney made of insulating bricks.

Metal flush-mounted roof fixtures should be bonded to the air-termination system when the necessary clearance for compliance with the safety distance as per 3.2 of IEC 61024-1, cannot be maintained.

3.1.2.5 Protection of roof fixtures enclosing electrical or information-processing equipment

All roof fixtures of insulating or conducting material which contain electrical and/or information-processing equipment, should lie within the protective space of the air-termination system.

A direct strike into equipment installed inside the protective space of the air-termination system is not probable.

A direct strike into the roof fixture would lead not only to destruction of the roof fixture but would also cause extended damage to the connected electrical and electronic equipment not only in the roof fixtures, but also inside the building.

Les prescriptions pour les fixations de toiture sont applicables aux fixations sur des surfaces verticales pour lesquelles un point d'impact est possible, par exemple pouvant être touchées par la sphère fictive.

Les figures 30, 47 et 48 montrent des exemples d'installations de dispositifs de capture protégeant des fixations de toiture isolantes et conductrices comportant des installations électriques.

3.1.2.6 Protection des parties conductrices de toiture

Il convient de protéger par des dispositifs de capture les parties conductrices de faible épaisseur installées sur les toits ainsi que les revêtements conducteurs et autres parties de structures qui peuvent être endommagés par la foudre et qui ne sont pas conformes aux dispositifs de capture naturels selon 2.1.4 et le tableau 2 de la CEI 61024-1.

Il faut que le dispositif de capture soit conçu et installé selon le niveau de protection choisi. Pour la protection contre la foudre des parties conductrices de toiture, il convient d'utiliser la méthode de la sphère fictive selon 2.1 et le tableau 1 de la CEI 61024-1.

La figure 49 montre la conception d'un dispositif de capture protégeant une partie conductrice contre les coups de foudre directs.

3.1.3 Composants naturels

Sur les toitures-terrasses, le revêtement métallique du parapet représente un composant naturel typique du dispositif de capture d'une IFP. Un tel revêtement comprend des parties extrudées ou courbées en aluminium, acier galvanisé ou cuivre sous forme C protégeant la partie externe du parapet contre les intempéries.

Il y a lieu que les conducteurs de capture, de toiture et de descente soient reliés au revêtement du parapet.

Il y a lieu qu'un pontage conducteur soit réalisé entre les bornes de sections couvertes de tuiles sauf s'il existe une continuité fiable entre elles.

Il convient d'utiliser des soudures ou des feuilles métalliques se recouvrant sur au moins 100 cm² sur chaque bord comme pontage de connexion selon 2.2.5 de la CEI 61024-1.

Les figures 22 et 45 montrent des exemples du dispositif de capture utilisant les revêtements conducteurs d'un parapet comme conducteur de capture naturel.

Les parties conductrices comme des réservoirs métalliques, canalisations métalliques, rails, etc., sur ou autour d'une toiture sont considérées comme des composants naturels du dispositif de capture si leur épaisseur satisfait à 2.1.4 et au tableau 2 de la CEI 61024-1.

Il convient que les cuves et canalisations contenant des gaz ou des liquides à haute pression ne soient pas utilisées comme composants naturels de capture. Si cela ne peut être évité, les échauffements dus aux courants de foudre doivent être pris en compte lors de leur conception.

Les parties conductrices au-dessus d'une toiture telles que réservoirs métalliques sont souvent naturellement reliées aux équipements intérieurs. Afin d'empêcher le courant de foudre total de s'écouler à l'intérieur de la structure, il est nécessaire de réaliser une bonne connexion entre ces composants naturels et le réseau maillé.

Les figures 50 et 51 montrent des exemples de connexion de fixations conductrices de toiture aux dispositifs de capture.

Il convient que les parties conductrices au-dessus d'une toiture telles que des réservoirs métalliques et les armatures en acier du béton soient connectées au dispositif de capture selon le tableau 6 de la CEI 61024-1.

Si un coup de foudre direct n'est pas admis sur une partie conductrice du toit, cette partie doit se situer dans l'espace protégé par le dispositif de capture.

The requirements for roof fixtures should also apply to fixtures installed on vertical surfaces to which a lightning strike is possible, i.e. which can be touched by the rolling sphere.

Figures 30, 47 and 48 contain several examples of air-termination constructions which protect the roof fixtures of conducting and isolating material enclosing electrical installations.

3.1.2.6 Protection of conductive parts on the roof

Conductive items, such as those with insufficient wall thickness, which cannot withstand lightning strikes and which are installed on roofs, and also conductive roof coverings or other parts on structures which do not meet the requirements for natural air-terminal systems according to 2.1.4 and table 2 of IEC 61024-1 and in which a lightning strike cannot be tolerated should be protected by air-termination.

Air-termination system must be designed and constructed in accordance with the selected protection level for the LPS. For the design of the lightning protection for conductive parts on the roof the rolling sphere air-termination design method utilizing the parameters in 2.1 and table 1 of IEC 61024-1 should be applied.

Figure 49 is an example of the design of an air-termination system protecting a conductive roof fixture against a direct lightning strike.

3.1.3 Natural components

On structures with flat roofs, the metal covering of a roof parapet represents a typical natural component of an LPS air-termination network. Such covering comprises extruded or bent parts of aluminium, galvanized steel or copper in C-form, which protect the upper surface of the roof parapet against the influence of weather.

The air-termination conductors, conductors on the roof surface and the down-conductors should be connected to the roof parapet covering.

Conductive bridging should be provided at the joints between sections of parapet covering plates, unless there is good, reliable continuity between them.

Bolted strips or underlying metal sheets with an overlap of at least 100 cm² on each side of the underlying sheet should be used as bridging connection in accordance with 2.2.5 of IEC 61024-1.

Figures 22 and 45 are examples of air-termination construction using the conductive covering of parapets as a natural air-termination conductor of the LPS.

Conductive parts, such as metal tanks, metal pipework, and railings mounted on or extending above a roof surface should be treated as natural components of an air-termination system provided their wall thicknesses comply with table 2 and 2.1.4 of IEC 61024-1.

Vessels and pipework which contain gas or liquids under high pressure, should not be used as natural air-terminations. Where this cannot be avoided, the heating effects of lightning current shall be taken into account when designing the pipework.

Conductive parts above the roof surface such as metal tanks are often naturally connected to equipment installed within the structure. In order to prevent conduction of the full lightning current through the structure, it is necessary to provide a good connection between such natural components of the LPS and the air-termination mesh.

Figures 50 and 51 are examples which show details of the bonding of conductive roof fixtures to air-terminations.

Conductive parts above the roof surface such as metal tanks and steel reinforcing rods of concrete should be connected to the air-termination network according to table 6 of IEC 61024-1.

When a direct lightning strike into the conductive part on the roof is not acceptable, the conductive part shall be installed inside the protective space of an air-termination system.

Il y a lieu que les revêtements conducteurs de façade et parties équivalentes de la structure où le risque de feu est négligeable soient réalisés selon 2.2.5 de la CEI 61024-1.

La figure 52 montre des exemples de pontage entre dalles métalliques de façade utilisées comme conducteurs naturels de descente. Deux méthodes sont présentées, pontage métallique souple et par vis autobloquante.

3.1.4 Dispositif de capture isolé

Les mâts de capture adjacents aux structures et équipements à protéger sont destinés à minimiser le risque de coup de foudre sur les structures dans leur volume de protection si un système de protection isolé est installé.

Les figures 54 et 55 montrent deux exemples de systèmes de protection isolés utilisant des mâts. Il convient que le risque de coup de foudre dans le volume à protéger soit compatible avec le niveau de protection choisi selon la CEI 61024-1 et la CEI 61024-1-1. Le niveau de perturbation électromagnétique pour les installations et matériels installés dans le volume à protéger n'est pas affecté par ces mesures.

Si plusieurs mâts sont installés, ils peuvent être interconnectés au moyen de liaisons aériennes, et il convient que les conditions de proximité de ces installations avec le système de protection soient conformes à 3.2 de la CEI 61024-1.

La figure 56 montre la conception d'un système de protection extérieur isolé. Les liaisons aériennes entre les mâts accroissent le volume protégé et permettent la répartition du courant de foudre dans plusieurs chemins de conducteurs de descente. La chute de tension dans le système de protection et les perturbations électromagnétiques dans le volume à protéger sont donc inférieures à celles d'un système de protection non isolé.

Dans le cas de tiges de capture et de conducteurs de descente non reliés aux parties conductrices de la structure et si les prescriptions de 3.2 de la CEI 61024-1 sont remplies, l'installation est considérée comme isolée.

Le champ électromagnétique dans la structure est réduit en raison de la distance plus élevée entre les installations dans la structure et le système de protection. Un tel système peut aussi être utilisé pour une structure en béton armé, lequel améliore l'écran électromagnétique. Toutefois, pour des structures de grande hauteur, la réalisation d'un système de protection isolé n'est pas pratique.

3.2 Conducteurs de descente

3.2.1 Informations générales

Il convient que les conducteurs extérieurs de descente soient installés entre le dispositif de capture et la prise de terre sur des structures sans parties conductrices verticales continues. Il convient que la distance moyenne entre eux soit conforme à 2.2.2, 2.2.3 et au tableau 3 de la CEI 61024-1.

La distance moyenne entre les conducteurs de descente est corrélée à la distance de sécurité (voir 3.2 de la CEI 61024-1).

Si ces valeurs sont plus élevées que celles du tableau 3, il y a lieu de recalculer les distances de sécurité (voir 2.5.2).

Il convient que les dispositifs de capture, les conducteurs de descente et la prise de terre soient coordonnés de manière que le cheminement du courant de foudre soit le plus court possible.

Il est recommandé que les conducteurs de descente soient reliés aux noeuds du dispositif de capture et rejoignent verticalement les noeuds de la prise de terre.

La figure 41 montre l'installation d'une IPF extérieure sur une structure avec divers niveaux de toiture et la figure 39 explicite l'installation pour une structure de 60 m de hauteur avec toiture-terrasse comportant des fixations.

Dans les structures sans parties conductrices importantes, le courant de foudre ne s'écoule que dans les conducteurs ordinaires de descente. Ainsi, la géométrie des conducteurs de descente définit les champs électromagnétiques dans la structure et les interférences peuvent être réduites si le nombre de conducteurs est accru. Pour plus de détails, voir la CEI 61312-1.

Conductive coverings on façades and equivalent parts of structures where the risk of fire is negligible should be performed in accordance with 2.2.5 of IEC 61024-1.

Figure 52 shows an example of conductive bridging between metal façade plates when the plates are used as natural down-conductors. Two methods are presented, bridging by flexible metal strapping and bridging by use of self-tapping screws.

3.1.4 Isolated air-termination

Air-termination masts adjacent to structures or equipment to be protected, are intended to minimize the possibility of lightning strikes to structures within their zone of protection when an isolated LPS is installed.

Figures 54 and 55 show two examples of isolated LPS utilizing single masts. The strike probability within the space to be protected should comply with the selected protection level of the LPS in accordance with IEC 61024-1 and IEC 61024-1-1. The level of the electromagnetic interference to the electrical and electronic equipment installed in the space to be protected is not affected by these measures.

When a number of masts is installed, the masts may be interconnected by means of overhead conductors and the proximities of the installations to the LPS should be in accordance with 3.2 of IEC 61024-1.

Figure 56 shows the design of an isolated external LPS. Overhead conductor connections between the masts extend the protected volume and also distribute the lightning current between several down-conductor paths. The voltage drop along the LPS and the electromagnetic interference in the space to be protected are therefore lower than in the case of a non-isolated LPS.

Where air-termination rods and down-conductors are not connected to conductive parts of the structure and the requirements of 3.2 of IEC 61024-1 are fulfilled, the installation represents an isolated LPS.

The strength of the electromagnetic field in the structure is reduced because of the greater distance between the installations within the structure and the LPS. An isolated LPS may also be applied to a structure of reinforced concrete which will improve the electromagnetic shielding even more. However, for tall structures the construction of an isolated LPS is not practical.

3.2 Down-conductor system

3.2.1 General information

External down-conductors should be installed between the air-termination system and the earth-termination system on structures without continuous vertical conductive parts. The average distance between the down-conductors should comply with 2.2.2 and 2.2.3 and table 3 of IEC 61024-1.

The average distance between the down-conductors is correlated with the safety distance (see 3.2 of IEC 61024-1).

If these values are greater than those specified in table 3, the safety distances should be recalculated (see 2.5.2).

Air-termination systems, down-conductor systems and earth-termination systems should be harmonized to produce the shortest possible path for the lightning current.

Down-conductors should be connected preferably to nodes of the air-termination system network and should be routed vertically to the nodes of the earth-termination system network.

Figure 41 is an example of an external LPS for a structure with different levels of roof construction and figure 39 is an example of the external LPS design for a 60 m high structure with flat roof having roof fixtures.

In structures without extensive continuous conductive parts, the lightning current only flows through the ordinary down-conductor system of the LPS. For this reason the geometry of down-conductors determines the electromagnetic fields within the interior of the structure and the interference can in this case be reduced, when the number of down conductors is increased. For more details see IEC 61312-1.

Pour les structures, il convient d'installer au moins deux conducteurs de descente conformément à 2.2.3 de la CEI 61024-1 (voir figures 29, 37a et 57).

Des mâts minces en matériau non conducteur sont souvent protégés par un seul conducteur de descente si aucune prescription particulière n'est requise.

Un nombre accru de conducteurs de descente réduit les effets électromagnétiques à l'intérieur de la structure et contribue à une meilleure protection des matériels électriques et électroniques. De plus, la distance de sécurité conforme à 3.2 de la CEI 61024-1 est réduite en raison du nombre accru de conducteurs de descente et du coefficient k_c calculé en 2.7.1.

Dans les structures équipées uniquement de conducteurs extérieurs de descente espacés selon le tableau 3 de la CEI 61024-1, et comportant un équipement informatique conséquent, comme dans les implantations industrielles, les structures administratives, les banques, des mesures complémentaires sont recommandées pour la protection de cet équipement contre les effets électromagnétiques de la foudre. Pour plus de détails, se reporter à la CEI 61312-1 et à l'article 4 de ce guide.

Dans les structures importantes, par exemple immeubles de grande hauteur, et en particulier les structures industrielles et administratives, souvent conçues en ossature métallique et béton ou en béton armé, les composants conducteurs peuvent être utilisés comme conducteurs naturels de descente.

L'impédance totale du système de protection de telles structures est très faible et constitue une protection très efficace contre la foudre des installations intérieures.

Il est très avantageux d'utiliser les parois conductrices comme conducteurs de descente. Ces parois peuvent être en béton armé ou métalliques ou en panneaux préfabriqués en béton si elles sont interconnectées selon 2.2.5 de la CEI 61024-1.

L'annexe A donne une description détaillée d'une installation appropriée d'un système de protection utilisant les composants naturels tels que les armures de la structure.

L'utilisation de composants naturels constitués de structures en acier réduit la chute de tension entre le dispositif de capture et la prise de terre et par suite les effets électromagnétiques dus à la foudre dans la structure.

Si le dispositif de capture est relié aux colonnes conductrices de la structure et à l'équipotentialité au niveau du sol, une partie du courant de foudre s'écoule dans ces conducteurs internes de descente. Le champ magnétique induit par ce courant de foudre partiel influence l'environnement et doit être pris en compte lors de la conception du système de protection et des installations électriques et électroniques. L'amplitude de ces courants dépend des dimensions de la structure et du nombre de colonnes, en supposant que la forme du courant suive celle du courant de foudre.

Si le dispositif de capture est isolé par rapport aux colonnes, aucun courant ne s'écoule dans les colonnes si aucun défaut de l'isolation n'apparaît. En cas de défaut non prévu, un courant plus important peut s'écouler dans une ou plusieurs colonnes. Son temps de montée peut augmenter en raison de sa durée réduite de forme d'onde due au défaut et les matériels environnants subissent une influence plus importante que celle qui existerait en cas d'équipotentialité des colonnes.

La figure 23 montre l'installation de conducteurs naturels intérieurs de descente dans une structure industrielle importante en béton armé. Il convient de considérer l'environnement électromagnétique proche des colonnes intérieures lors de la conception du système intérieur de protection.

3.2.2 Conducteurs de descente non isolés

Dans les structures avec de nombreuses parties conductrices sur les parois extérieures, il y a lieu que les conducteurs de capture et la prise de terre soient connectés aux parties conductrices de la structure en plusieurs points. Il convient de réaliser les connexions selon les méthodes décrites dans l'annexe B.

Ceci réduira la distance de sécurité, conformément à 3.2 de la CEI 61024-1 ainsi que les champs électromagnétiques dans la structure.

Comme indiqué dans la note 2 de 3.2 de la CEI 61024-1, dans ce cas les conditions de proximité sont habituellement respectées.

Suite à ces connexions, les parties conductrices sont des conducteurs de descente et des barres d'équipotentialité. Les tensions induites par la foudre sont considérablement réduites ainsi que les interférences électromagnétiques. Un tel concept définit un système de protection non isolé. Cependant, des détails relatifs à la protection des installations contre les effets électromagnétiques sont donnés dans la CEI 61312-1.

According to 2.2.3 of IEC 61024-1, at least two down-conductors should be used on a structure (see figures 29, 37a and 57).

Slender masts of non-conductive material are often protected by only one down-conductor if no special requirements are given.

A larger number of down-conductors on a structure reduces the electromagnetic field strength within the structure and thus provides improved protection of the electrical and electronic equipment within the structure. Moreover, the safety distance according to 3.2 of IEC 61024-1 is reduced with the increasing number of down-conductors according to the coefficient k_c as calculated in 2.7.1.

In structures equipped solely with external down-conductors spaced in accordance with table 3 of IEC 61024-1, which enclose extensive information-processing equipment, such as that installed in industrial plants, administrative structures, and banks, additional measures are recommended to protect this equipment against the electromagnetic interference caused by lightning. For detailed information see IEC 61312-1 and clause 4 of this guide.

For large structures, such as high-rise apartment buildings and in particular industrial structures and administrative structures, which are often designed as steel skeletons or steel and concrete skeleton structures, or which use steel-reinforced concrete, the conductive structure components may be used as natural down-conductors.

The total impedance of the LPS for such structures is fairly low and they afford a very efficient lightning protection for inner installations. It is particularly advantageous to use conductive wall surfaces as down-conductors. Such conductive wall surfaces might be: reinforced concrete walls, metallic sheet façade surfaces and façades of pre-fabricated concrete elements, provided they are connected and interlinked according to 2.2.5 of IEC 61024-1.

Annex A provides a detailed description of the proper construction of an LPS using natural LPS components such as interconnected steel.

Use of natural components containing structural steel reduces the voltage drop between the air-termination system and the earth-termination system and thereby the electromagnetic interference caused by lightning current within the structure.

If the air-termination system is connected to the conductive parts of the columns within the structure complex and to the equipotential bonding at ground level, a portion of the lightning current flows through these internal down-conductors. The magnetic field of this partial lightning current influences neighbouring equipment and has to be considered in the design of the internal LPS and electrical and electronic installations. The magnitude of these partial currents depend on the dimensions of the structure and on the number of columns, assuming the current waveform follows the waveform of the lightning current.

If the air-termination system is insulated from the internal columns no current flows through the columns within the structure complex, provided the insulation does not break down. If the insulation breaks down at an unpredicted point, a larger partial current may flow through a particular column or group of columns. The current steepness may increase due to the reduced virtual duration of the wavefront caused by the breakdown and the neighbouring equipment is affected to a greater extent than it would be in the case of controlled bonding of columns to the LPS of the structure.

Figure 23 is an example of the construction of internal down-conductors in a large steel-reinforced concrete structure used for industrial purposes. The electromagnetic environment near to the inner columns should be considered when planning the internal LPS.

3.2.2 Non-isolated down-conductors

In structures with extensive conductive parts in the outer walls, the air-termination conductors and the earth-termination system should be connected to the conductive parts of the structure at a number of points. The connections should be made in accordance with the methods described in annex B.

This will reduce the safety distance according to 3.2 of IEC 61024-1 and the electromagnetic fields inside the structure.

As stated in note 2 of 3.2 of IEC 61024-1, in this case the proximity requirements are normally fulfilled.

As a result of these connections the conductive parts of a structure are used as down-conductors and also as equipotential bonding bars. The voltages caused by a lightning strike are considerably reduced by these measures and the electromagnetic interference within the structure is also reduced. Such design is defined as a non-isolated LPS. However, details on protection of installations against the electromagnetic interference are given in the IEC 61312-1.

Toutes les colonnes intérieures et les parois avec parties conductrices, par exemple les renforts en acier ne remplissant pas les conditions de distance de sécurité conviennent d'être connectées au dispositif de capture et à la prise de terre aux points appropriés.

Ceci réduira la distance de sécurité, conformément à 3.2 de la CEI 61024-1 ainsi que les champs électromagnétiques dans la structure.

La figure 23 montre une structure importante avec colonnes intérieures en béton armé. Pour éviter des amorçages entre les parties conductrices, l'armure des colonnes est connectée au dispositif de capture et à la prise de terre. Ainsi, le courant de foudre s'écoulera en partie dans ces conducteurs de descente intérieurs. Cependant, le courant se répartit entre de nombreux conducteurs de descente et a approximativement la même forme d'onde que le courant d'impact. Si ces connexions ne sont pas réalisées et si des amorçages apparaissent, seules quelques conducteurs écouleront le courant. La forme d'onde de l'amorçage est beaucoup plus raide que celle de la foudre et ainsi l'induction dans les boucles sera accrue.

Pour de telles structures, avant de commencer leur conception, il est important d'harmoniser les conceptions de la structure et du système de protection afin que les parties conductrices soient utilisées pour la protection contre la foudre. En concevant soigneusement le système de protection, une très grande efficacité est obtenue au moindre coût.

Il convient de concevoir la protection contre la foudre de l'espace et des personnes sous un étage en encorbellement selon 2.4.3 et la figure 36.

3.2.3 Composants naturels

L'utilisation de conducteurs naturels de descente pour augmenter le nombre total de conducteurs parallèles est recommandée pour réduire la chute de tension dans ces conducteurs et réduire les effets électromagnétiques dans la structure. Cependant, il convient de s'assurer que ces conducteurs sont interconnectés tout au long de leur parcours entre le dispositif de capture et la prise de terre.

Il y a lieu que les armatures en acier des bâtiments neufs soient réalisées selon 1.3 de la CEI 61024-1. Si une interconnexion continue entre conducteurs naturels de descente ne peut être assurée, il est recommandé d'utiliser des conducteurs conventionnels de descente.

Pour des structures avec niveau de protection faible, les gouttières satisfaisant aux conditions de conducteurs naturels de descente selon 2.2.5 de la CEI 61024-1 peuvent être utilisées comme conducteurs de descente.

Les figures 21a, 21b et 21c montrent des exemples de fixation des conducteurs sur la toiture et les descentes avec des dimensions appropriées et les figures 21c et 21d montrent les connexions du conducteur de descente à la gouttière métallique et à la prise de terre.

Les armatures des parois ou colonnes en béton et les ossatures en acier peuvent être utilisées comme conducteurs naturels de descente comme indiqué en A.4.4.

Une façade métallique ou un revêtement métallique de structure peut être utilisé comme conducteur naturel de descente selon 2.2.5 d) de la CEI 61024-1.

La figure A.8 montre une installation de conducteurs naturels de descente d'éléments métalliques de façade utilisant l'armature acier des parois en béton et les plans équipotentiels de référence du système de protection intérieur.

Les connexions doivent être prévues en haut du revêtement pour le dispositif de capture et en bas pour la prise de terre et les armatures métalliques des parois, si besoin.

La figure A.9 montre l'installation d'une telle équipotentialité dans une structure en béton armé avec façade métallique.

La distribution du courant dans de telles façades est meilleure que dans le béton armé. Les éléments sont généralement des panneaux, généralement de section trapézoïdale, de largeur comprise entre 0,6 m et 1,0 m et de longueur correspondant à la hauteur de la structure. Dans le cas de structures élevées, la longueur des panneaux est définie par les problèmes de transport. L'ensemble de la façade comprend des panneaux montés les uns au-dessus des autres.

Pour les façades métalliques, il convient que l'expansion thermique maximale soit calculée comme la différence de longueur entre une température maximale de la façade métallique au soleil environ +80°C et une température minimale de -20°C.

All internal columns and all internal partition walls with conductive parts, such as steel reinforcing rods, which do not fulfil the safety distance conditions, should be connected with the air-termination system and with the earth-termination system at suitable points. This will reduce the safety distance according to 3.2 of IEC 61024-1 and the electromagnetic fields inside the structure.

Figure 23 shows the LPS of a large structure with internal columns made of steel-reinforced concrete. To avoid dangerous sparking between different conductive parts of the structure, the reinforcement of the columns is connected to the air-termination system and to the earth-termination system. As a result, a portion of the lightning current will flow through these internal down-conductors. However, the current is divided among numerous down-conductors and has approximately the same waveform as the current in the lightning stroke. If these connections are not made and a flashover occurs, only one or a few of these internal down-conductors may carry the current. The waveform of the flashover current will be considerably steeper than the lightning current, so the voltage induced in neighbouring circuit loops will be considerably increased.

For such structures it is particularly important that, before commencing the design of the structure, the design of the structure and the design of the LPS are harmonized, so that conductive parts of the structure can be utilized for lightning protection. By means of well coordinated design, a highly effective LPS is achieved at minimum cost.

Lightning protection of space and persons below an overhanging upper storey, such as a cantilevered upper floor, should be designed according to 2.4.3 and figure 36.

3.2.3 Natural components

The use of natural down-conductors to maximize the total number of parallel current conductors is recommended as this minimizes the voltage drop in down-conductor systems and reduces the electromagnetic interference within the structure. However, it should be ensured that such down-conductors are electrically continuous along the entire path between the air-termination system and the earth-termination system.

Steel reinforcement of newly erected structures should be specified in accordance with 1.3 of IEC 61024-1. If electrical continuity of the natural down-conductors cannot be guaranteed, conventional down-conductors should be installed.

For structures with low protection requirements, a metallic rain-pipe which satisfies the conditions for natural down-conductors according to 2.2.5 of IEC 61024-1, may be used as a down-conductor.

Figures 21a, 21b and 21c show examples of fixing the conductors on the roof and the down-conductors including appropriate geometrical dimensions, and figures 21c and 21d show the connections of the down-conductor to the metallic rain-pipe, the conductive gutters and the earth-termination conductor.

The reinforcing rods of walls or concrete columns and steel structural frames may be used as natural down-conductors as shown in A.4.4.

A metal façade or a façade covering on a structure may be used as a natural down-conductor complying with 2.2.5 d) of IEC 61024-1.

Figure A.8 shows construction of a natural down-conductor system using metal façade elements and steel reinforcing in the concrete walls as the equipotentialization reference plane to which the equipotentialization bars of the internal LPS are connected.

Connections should be provided at the top of the wall covering to the air-termination system and at the bottom to the earth-termination system and to the reinforcing rods of the concrete walls, if applicable.

Figure A.9 shows examples of construction of the equipotential bonding in a steel-reinforced concrete structure with metal façade.

The distribution of current in such metal façades is more consistent than in reinforced concrete walls. Sheet metal façades comprise individual panels generally of trapezoidal cross-section having a width between 0,6 m and 1,0 m and a length corresponding to the height of the structure. In the case of high-rise structures, the panel length does not correspond to the structure height due to transport problems. The whole façade then comprises a number of sections mounted one above the other.

For a metal façade the maximum thermal expansion should be calculated as the difference in length produced by a maximum temperature of the metal façade in sunlight of approximately +80 °C and a minimum temperature of –20 °C.

La différence de température de 100 K correspond à une expansion thermique de 0,24 % pour l'aluminium et de 0,11 % pour l'acier.

L'expansion thermique des panneaux occasionne un mouvement des panneaux par rapport au panneau adjacent et des fixations.

Selon 2.2.5 d) de la CEI 61024-1, un chevauchement sans vissage est admis si la surface de chevauchement est supérieure à 100 cm².

Dans ce cas, la chute de tension maximale correspond toujours à la tension de défaut de l'isolation. L'isolation peut être une distance dans l'air, une couche d'oxyde de la surface métallique ou un revêtement des panneaux métalliques. Plus la contrainte de défaut est élevée, plus la tension entre panneaux métalliques est élevée et plus la distribution du courant dans la façade est asymétrique; de ce fait, les effets du champ électromagnétique dus au courant de foudre influent d'autant plus sur les matériels dans la structure.

Les connexions métalliques, telles que montrées à la figure 52, encouragent une distribution uniforme des courants dans les façades métalliques et réduisent le champ électromagnétique à l'intérieur.

Une façade métallique constitue un écran efficace si elle est mise à la terre dans toute la zone concernée.

Les façades métalliques constituées de petits éléments non connectés, ne peuvent être utilisées comme conducteurs naturels de descente, ni comme écran électromagnétique.

Une efficacité CEM élevée d'une structure est obtenue par pontage permanent des façades métalliques adjacentes à faibles intervalles.

La symétrie de distribution des courants est proportionnelle au nombre de connexions. Si des règles strictes demandent une atténuation des champs et si un bandeau de bates vitrées appartient à la façade, ce bandeau a lieu d'être ponté de manière continue dans la façade au moyen de conducteurs à intervalles rapprochés. Ceci peut être réalisé par les encadrements métalliques des baies. Il convient que la façade métallique soit connectée aux encadrements à intervalles rapprochés. Chacun de ces encadrements est relié aux poutres horizontales à intervalles ne dépassant pas les écarts verticaux entre baies. Il convient que les courbures et détours soient évités (voir figure 53).

Pour des informations complémentaires sur la protection des installations électriques et électroniques, voir la CEI 61312-1.

3.2.4 Borne d'essai

Il convient d'installer les bornes d'essai conformes à 2.2.6 de la CEI 61024-1, entre conducteurs de descente et prise de terre. Ces bornes permettent la vérification par mesure d'un nombre approprié de connexions à la terre. Il est donc possible de mesurer la continuité entre cette borne et le dispositif de capture ou le ceinturage le plus proche. Sur des structures élevées, les ceinturages sont connectés aux conducteurs de descente pouvant être incorporés dans les parois et sont invisibles; leur existence peut être seulement confirmée par mesure.

Les figures 58a, 58c et 58d montrent la réalisation d'une borne d'essai installée sur une paroi interne ou externe d'une structure avec un bornier-trou dans le sol à l'extérieur de la structure (voir figure 58b). Pour rendre possible la mesure de continuité, quelques conducteurs ont un revêtement isolant sur les sections critiques.

Il convient que les connexions des conducteurs naturels de descente à la terre soient prévues avec des segments conducteurs isolés et des bornes d'essai. Des prises de terre de référence doivent être installées pour faciliter la vérification de la prise de terre du système de protection. Les bornes de terre facilitent aussi les mesures de la résistance des prises de terre.

3.2.5 Conducteurs de descente isolés

Les systèmes de protection contre la foudre connectés aux éléments conducteurs de la structure et à l'équipotentialité au seul niveau du sol sont définis comme isolés conformément à 2.2.2 de la CEI 61024-1.

Les systèmes isolés sont réalisés avec des tiges ou des mâts de capture installés à proximité de la structure à protéger ou par des fils tendus entre les mâts et répondant aux conditions de proximité de 3.2 de la CEI 61024-1.

The temperature difference of 100 K corresponds to a thermal expansion of 0,24 % for aluminium and 0,11 % for steel.

Thermal expansion of the panels results in movement of the panels with respect to the next section or with respect to the fixtures.

According to 2.2.5 d) of IEC 61024-1, overlapping without screwing at the joints is permissible, when the overlapping surface exceeds 100 cm².

In this case the maximum voltage drop always corresponds to the breakdown voltage of the insulation. The insulation may comprise both an air gap, the oxide layer on the metal surface or a coating on the metal panels. The higher the breakdown strength of the path, the higher the voltage between the two sheet metal panels and the more asymmetrical will be the current distribution in the façade; therefore, the electromagnetic field due to the lightning current will affect equipment in the structure to a greater extent.

Metal connections, such as those depicted in figure 52, encourage uniform current distribution in metal façades and thus reduce the influence of the electromagnetic field inside the structure.

A metal façade produces maximum electromagnetic shielding when it is electrically interconnected over its whole area.

Metal façades comprised of relatively small elements, which are not interconnected, cannot be used as a natural down-conductor system or for electromagnetic shielding.

High electromagnetic shielding efficiency of a structure is obtained when permanent bonding of adjacent metal façades is carried out at sufficiently small intervals.

Symmetry of current distribution relates directly to the number of connections.

If stringent requirements with respect to shield attenuation exist and continuous strip windows are incorporated in such a façade, the continuous strip windows should be bridged by means of conductors at small intervals. This may be done by means of metal window frames. The metal façade should be connected to the window frame at short intervals. Generally each ridge is connected to the horizontal tie-beam of the window frame at intervals not exceeding the spacing of the vertical members of the window construction. Bends and detours should always be avoided (see figure 53).

More information on the protection of electrical installations and electronics in structures is available in IEC 61312-1.

3.2.4 The test joint

Test joints complying with 2.2.6 of IEC 61024-1, should be installed in the connection of the down-conductors to the earth-termination system. These joints facilitate the determination by measurement that an adequate number of connections to the earth-termination system still exists. It is thus possible to validate the existence of continuous connections between the test joint and the air-termination system or the next bonding bar. On tall structures, ring-conductors are connected to the down-conductors which may be installed in the wall and invisible to the eye; their existence may only be confirmed by electric measurement.

Figures 58a, 58c and 58d show examples of test joint designs which may be installed on the inner or outer wall of a structure or in a test joint hole, in the earth outside the structure (see figure 58b). To make the continuity measurements possible, some of conductors may have to have insulating sheaths on critical sections.

Connections from natural down-conductors to earth-termination electrodes should be provided with insulated conductor segments and testing joints. Special reference earth electrodes may be installed to facilitate monitoring of the earth-termination system of an LPS. Test joints also facilitate measurements of the earth resistance of earth terminations.

3.2.5 Isolated down-conductors

LPS which are connected to conductive structure elements and to the equipotential bonding system only at ground level, are defined as isolated according to 2.2.2 of IEC 61024-1.

Isolated LPS are achieved either by installing air-termination rods or masts adjacent to the structure to be protected, or by suspending overhead wires between the masts, in accordance with the proximity conditions of 3.2 of IEC 61024-1.

Les systèmes isolés sont aussi installés sur des structures en matériau isolant tel que brique ou bois avec des distances de séparation définies par la distance de sécurité en 3.2 de la CEI 61024-1, maintenues et sans connexion aux parties conductrices de la structure et des matériels intérieurs à l'exception de la connexion à la borne principale de terre.

Il convient de s'assurer que les équipements conducteurs dans la structure et les canalisations électriques sont distants des conducteurs de capture et de descente d'une longueur au moins égale à la distance de sécurité définie en 3.2 de la CEI 61024-1. Il convient aussi de s'assurer que les futures installations répondront aux prescriptions d'un système de protection isolé comme défini dans la CEI 61024-1. Il est recommandé que cette prescription soit connue du propriétaire de la structure. Il convient que le maître d'oeuvre responsable de la conception et de l'installation du système de protection en informe le propriétaire.

Il y a lieu que le propriétaire transmette à son tour ces informations aux futurs services travaillant sur ou dans le bâtiment et que le responsable des travaux l'avise s'il n'est pas en mesure de satisfaire à ces prescriptions.

Il convient que toutes les parties de matériels installés dans la structure protégée par un système isolé soient situées dans l'espace protégé et répondent aux conditions de distance de sécurité. Il convient que les conducteurs du système soient installés sur des fixations isolantes. Si ces fixations aux parois de la structure sont trop proches des parties conductrices, la distance de séparation entre le système de protection et les parties conductrices intérieures dépasse la distance de sécurité en 3.2 de la CEI 61024-1.

Il convient que les fixations de toiture affleurantes non reliées à l'équipotentialité qui présentent une distance de séparation avec le dispositif de capture dépassant la distance de sécurité mais une distance de séparation avec l'équipotentialité ne la dépassant pas, soient reliées au dispositif de capture isolé.

Dans la conception de l'installation et les règles de sécurité de travail au voisinage des fixations de toiture, il convient de s'assurer que ces fixations subiront la même augmentation de tension que le dispositif de capture lors d'un coup de foudre.

Il est recommandé d'installer les systèmes de protection isolés sur des structures présentant de nombreuses parties conductrices connectées s'il est demandé d'empêcher le courant de foudre de s'écouler dans les parois et les matériels intérieurs.

Sur les structures constituées de nombreuses connexions entre parties conductrices telles qu'ossatures métalliques ou en béton armé, il y a lieu que le système de protection isolé maintienne une distance de sécurité vis-à-vis de ces parties conductrices, afin d'obtenir une séparation appropriée en fixant les conducteurs par des fixations isolantes de parois.

Il convient d'observer que les colonnes et plafonds en béton armé sont souvent utilisés dans des structures en briques.

Si pour des raisons architecturales, les conducteurs de descente ne peuvent être installés en surface, il y a lieu de les installer dans des rainures dans la brique. Dans ce cas, il faut prendre en compte le maintien de la distance de sécurité d telle que donnée en 3.2 de la CEI 61024-1, entre le conducteur de descente et toute partie métallique interne à la structure.

L'encastrement direct dans le plâtre extérieur n'est pas recommandé car le plâtre peut être endommagé par expansion thermique. De plus, il peut se décolorer par réaction chimique. Le plâtre est surtout endommagé par l'élévation de température et les contraintes mécaniques dues au courant de foudre; les conducteurs gainés en PVC préviennent la décoloration.

3.3 Réseau de prises de terre

3.3.1 Généralités

Le but de la prise de terre est:

- d'écouler le courant de foudre à la terre;
- de réaliser une équipotentialité entre les conducteurs de descente;

Isolated LPS are also installed on structures of insulating material, such as brickwork or wood, where the separation distance, as defined in 3.2 of IEC 61024-1, is maintained, and no connection is made to conductive parts of the structure and to equipment installed therein, with the exception of connections to the earth-termination system at ground level.

Conductive equipment within the structure and electrical conductors should not be installed with separation distances to the air-termination system conductors and to the down-conductors shorter than the safety distance defined in 3.2 of IEC 61024-1. All future installations should comply with the requirements of an isolated LPS as stated in IEC 61024-1. These requirements should be made known to the owner of the structure; the contractor responsible for the design and construction of the LPS should inform the owner of the structure.

The owner should inform future contractors performing work in or on the building about these requirements. The contractor responsible for such work should inform the owner of the structure if he cannot meet these requirements.

All parts of equipment installed in a structure with an isolated LPS should be placed within the protected space of the LPS and satisfy the safety distance conditions. The LPS conductors should be mounted on insulated conductor fixtures, if conductor fixings attached directly to the structure walls are too close to conductive parts, so that the separation distance between the LPS and the inner conductive parts exceeds the safety distance as specified in 3.2 of IEC 61024-1.

Flush-mounted conductive roof fixtures which are not connected to the equipotential bonding and have a separation distance to the air termination system not in excess of the safety distance but a separation distance to the equipotential bonding in excess of the safety distance, should be connected to the air-termination system of the isolated LPS.

The design of LPS and the safety instructions for work in the vicinity of a roof fixture should take account of the fact that the voltage on such fixtures will rise to that of the air-termination in the event of a lightning strike.

Isolated LPS should be installed on structures with extensive interlinked conductive parts when it is desired to prevent lightning current from flowing through structure walls and internally installed equipment.

On structures consisting of continuously interlinked conductive parts, such as steel construction or steel-reinforced concrete, the isolated LPS should maintain the safety distance to these conductive parts of the structure to achieve adequate separation, LPS conductors may have to be fixed to the structure by insulated conductor fixtures.

It should be noted, that columns and ceilings of reinforced concrete are often used in brick structures.

If, due to architectural considerations the down-conductors cannot be surface mounted, they should be installed in open slits in the brickwork. In this case, consideration must be given to maintaining the safety distance d , as given in 3.2 of IEC 61024-1, between the down-conductor and any metal parts inside the structure.

Direct installation within the external plaster is not recommended since the plaster may be damaged as a result of thermal expansion. Moreover, the plaster may be discoloured as a result of chemical reaction. Damage to the plaster is particularly likely as a result of temperature rise and mechanical forces exerted by lightning current; PVC-covered conductors prevent staining.

3.3 Earth-termination system

3.3.1 General

The task of an earth termination system is:

- conduction of the lightning current into the earth;
- equipotential bonding between the down-conductors;

- de contrôler la tension au voisinage des parois conductrices;
- d'intercepter le courant de foudre s'il se propage à la surface du sol.

Les prises de terre à fond de fouille et les prises de terre de type B satisfont à ces conditions. Les prises de terre radiales de type A ou les électrodes verticales profondément enterrées ne satisfont pas à ces conditions pour l'équipotentialité et le contrôle de la tension.

Il y a lieu que les fondations en béton armé d'une structure soient toujours utilisées comme prise de terre. Elles présentent une résistance de terre faible et réalisent une excellente référence d'équipotentialité. Si cela n'est pas possible, il convient d'installer autour de la structure un dispositif de capture, de préférence une prise de terre en boucle de type B.

3.3.2 Prises de terre à fond de fouille

Une telle prise de terre conforme à 1.2.14 de la CEI 61024-1, comporte les conducteurs incorporés à la fouille (voir aussi 2.3.6 de la CEI 61024-1). Il convient que les longueurs des électrodes complémentaires soient déterminées par la figure 2 selon 2.3.2 de la CEI 61024-1.

Les prises de terre à fond de fouille sont incorporées dans le béton. Ceci a l'avantage de ne pas être soumis à la corrosion si le béton est correct et si la fondation est à plus de 50 mm. Il est aussi rappelé que les armatures acier dans le béton génèrent la même amplitude de potentiel galvanique qu'un conducteur en cuivre enterré. Ceci offre une bonne solution pour la conception de prises de terre pour les structures en béton armé (voir 5.2.2 de ce guide).

Il convient que les métaux utilisés pour les prises de terre satisfassent aux prescriptions du tableau 4 de la CEI 61024-1 et que la tenue de ces matériaux à la corrosion dans le sol soit toujours prise en compte. Des indications sont données en 5.2. Si des indications pour des sols particuliers ne sont pas données, il convient de prendre en compte l'expérience des sols voisins dont les caractéristiques chimiques et la consistance sont analogues. Si les tranchées des prises de terre sont comblées, il convient de s'assurer que ni cendres, ni charbon, ni matériaux de démolition ne viennent en contact direct avec la prise de terre.

Un problème complémentaire apparaît en raison de la corrosion électrochimique due à des courants galvaniques.

Le fer dans le béton présente un potentiel galvanique analogue à celui du cuivre dans le sol. C'est pourquoi si le fer dans le béton est connecté à du fer dans le sol, une tension galvanique d'environ 1 V entraîne un courant de corrosion dans le sol et l'humidité du béton et provoque la dissolution du fer.

Il convient que les prises de terre dans le sol utilisent des conducteurs en cuivre ou en inox si elles sont connectées à du fer dans du béton, voir aussi 5.2.

Dans le périmètre de la structure, un conducteur métallique conforme au tableau 5 de la CEI 61024-1 ou, si admis par le constructeur, il convient qu'un ruban d'acier galvanisé soit installé dans la fondation pour se connecter au dispositif de capture par les bornes d'essai.

Le cheminement des conducteurs de descente peut être réalisé dans le plâtre ou la paroi pour des constructions en briques. Les passages doivent traverser le papier saturé d'asphalte normalement en place entre la fondation et la cloison en briques. Le passage de l'humidité en ce point ne pose pas de problèmes.

La couche étanche à l'eau, souvent disposée sous la fondation pour réduire l'humidité, fournit une isolation électrique cohérente. L'électrode de terre doit être installée sous la fondation. Il convient de conclure un accord avec le concepteur du dispositif de capture.

La prise de terre en fond de fouille en béton armé est montrée en annexe (voir A.5.5).

Si une nappe d'eau est présente dans le sol, la fondation est rendue étanche. Une couche d'étanchéité électriquement isolante est appliquée sur la fondation extérieure. Généralement, une couche de béton propre de 10 cm à 15 cm est versée dans la tranchée sur laquelle est ensuite installée la fondation.

- potential control in the vicinity of conductive building walls;
- interception of the lightning current when propagating on the earth's surface.

The foundation earth electrodes and the type B ring-type earth electrodes meet all these requirements. Type A radial earth electrodes or deep-driven vertical earth electrodes do not meet the requirements with respect to equipotential bonding and potential control.

Structure foundations of interconnected steel-reinforced concrete should be used as a foundation earth electrode. They exhibit very low earthing resistance and perform an excellent equipotentialization reference. When this is not possible, an earth-termination system, preferably a type B ring earth electrode, should be installed around the structure.

3.3.2 Foundation earth electrodes

A foundation earth electrode which complies with 1.2.14 of IEC 61024-1, comprises conductors, which are installed in the foundation of the structure below ground (see also 2.3.6 of IEC 61024-1). The length of additional earth electrodes should be determined using the diagram in figure 2 of IEC 61024-1, according to 2.3.2 of IEC 61024-1.

Foundation earth electrodes are installed in concrete. They have the advantage that, if the concrete is of adequate construction and covers the foundation earth electrode by at least 50 mm, they are reasonably protected against corrosion. It should also be remembered that reinforcing steel rods in concrete generate the same magnitude of galvanic potential as copper conductors in soil. This offers a good engineering solution to the design of earth-termination systems for reinforced concrete structures (see 5.2.2 of this guide).

Metals used for earth electrodes should comply with the materials listed in table 4 of IEC 61024-1, and the behaviour of the material with respect to corrosion in the soil should always be taken into account. Some guidance is given in 5.2. When guidance for particular soils is not available, the experience with earth-termination systems in neighbouring plants, whose soil has similar chemical properties and consistency, should be ascertained. When the trenches for earth electrodes are refilled, care should be taken that no fly ash, lumps of coal or building rubble is in direct contact with the earth electrode.

A further problem arises from electrochemical corrosion due to galvanic currents.

Iron in concrete has approximately the same galvanic potential in the electrochemical series as copper in soil. Therefore, when iron in concrete is connected to iron in soil, a driving galvanic voltage of approximately 1 V causes a corrosion current to flow through the soil and the wet concrete and dissolve iron in soil.

Earth electrodes in soil should use copper or stainless steel conductors where these are connected to iron in concrete, see also 5.2.

At the perimeter of a structure, a metal conductor in accordance with table 5 of IEC 61024-1 or, if permitted by the building contractor, a galvanized steel strip, should be installed in the strip foundation and be taken upwards with connection leads to the designated terminal points of the lightning down-conductor test joints.

Upward routing of the connecting conductors for connection to the down-conductors can be performed on the brickwork, within the plaster or within the wall. The steel connection leads installed within the wall may penetrate the asphalt-saturated paper normally used between the foundation and the brick wall. Piercing of the humidity barrier at this point generally presents no problem.

The water insulating layer often inserted below the structure foundation to reduce the humidity in the basement floor provides consistent electrical insulation. The earth electrode should be installed under the foundation in the subconcrete. An agreement should be obtained with the builder for the design of the earth termination system.

The foundation earth termination for reinforced concrete foundation is shown in A.5.5.

Where the ground water level is high the foundation of the structure is isolated from subsoil water. A sealing waterproof layer is applied to the outer surface of the foundation, which also provides electrical insulation. Normally in execution of such a waterproof foundation, a clean layer of approximately 10 cm – 15 cm concrete is poured on the bottom of the foundation pit, onto which the isolation and later the concrete foundation is laid.

Une prise de terre à fond de fouille constituée d'un maillage dont la taille ne dépasse pas 10 m doit être installée dans la couche de béton propre sous la fondation.

Un conducteur conforme au tableau 5 de la CEI 61024-1, doit connecter le maillage et les armatures de la fondation, les prises de terre en boucle, les conducteurs de descente externes, les barrières d'humidité, les isolations ou, si cela est admis, par des presse-étoupe dans l'isolation.

Si la pénétration du conducteur dans la couche isolée n'est pas admise par le constructeur du bâtiment, il convient que les connexions au dispositif de capture soient réalisées à l'extérieur de la structure.

La figure 59 illustre trois exemples de réalisation de prises de terre en fond de fouille avec des fondations étanches pour éviter de percer la barrière d'humidité.

Plusieurs solutions de connexions appropriées des prises de terre dans des fondations isolées sont également représentées.

Les figures 59a et 59b montrent des connexions extérieures à l'isolation de manière qu'elle ne soit pas endommagée, la figure 59c montre un presse-étoupe dans l'isolation.

A la figure 59b, la liaison chemine dans le sol. Il convient de toujours considérer la tenue à la corrosion de cette disposition. La connexion peut, par exemple, être réalisée en acier inoxydable, cuivre ou acier gainé de PVC.

3.3.3 Type B – Prises de terre en boucle

Pour des structures en matériau isolant tel que la brique ou le bois sans fondation armée, il y a lieu d'installer des prises de terre de type B conformément à 2.3.3.2 de la CEI 61024-1.

Afin de réduire la résistance équivalente de terre, les prises de terre de type B peuvent être améliorées si nécessaire par l'ajout d'électrodes verticales, ou de prises de terre radiales conformes à 2.3.3.2 de la CEI 61024-1. La figure 2 de la CEI 61024-1 donne des prescriptions relatives aux longueurs minimales des prises de terre.

Une prise de type B doit être installée selon 2.3.5 de la CEI 61024-1 à plus de 1 m de la structure et à une profondeur au moins égale à 0,5 m; il y a lieu qu'elle entoure la structure à protéger.

Cette distance et cette profondeur sont optimales en sol normal pour la protection des personnes dans le voisinage de la structure. Dans des pays avec des températures hivernales basses, il est recommandé de considérer la profondeur appropriée des prises de terre.

Les prises de terre de type B réalisent aussi l'équipotentialité entre les points de base des conducteurs de descente. Ces points sont soumis à des potentiels différents en raison de la répartition dissymétrique du courant de foudre et des variations de la résistance de terre. Ces différences de potentiel se traduisent en écoulement de courants dans la boucle de terre et réduisent l'élévation de potentiel et contribuent à l'équipotentialité des systèmes connectés à la structure. Ceci est une prescription préliminaire pour le dimensionnement de la proximité des installations en conformité avec 3.1 de la CEI 61024-1.

Si des structures adjacentes appartiennent à divers propriétaires, il n'est pas toujours possible d'installer des prises de terre en boucle entourant totalement la structure.

Dans ce cas, l'efficacité de la prise de terre est réduite car la boucle joue partiellement le rôle d'une prise de terre de type B, partiellement celui d'une prise de terre à fond de fouille, partiellement celui d'un conducteur d'équipotentialité.

Si des zones sont fréquentées par de nombreuses personnes au voisinage de la structure à protéger, il convient de procéder à des vérifications complémentaires de potentiel. Il y a lieu que de nouvelles prises de terre en boucle soient installées à une distance d'environ 3 m du premier conducteur en boucle et des conducteurs suivants. Il est recommandé que les prises

A foundation earth electrode consisting of a network of mesh size not exceeding 10 m should be installed in the clean concrete layer at the bottom of the foundation pit.

A conductor according to table 5 of IEC 61024-1, should connect the meshed earth termination with reinforcement in the foundation, the ring earth electrodes, the down-conductors external to the humidity barrier, the insulation, or, where these are permitted, by pressure-water proof bushings through the insulation.

When penetration of the conductor through the isolation layer is not permitted by the building contractor, connections should be made to the earth termination outside the structure.

Figure 59 shows three different examples of how to install foundation earth electrodes on a structure with water-proofed foundations to avoid piercing of the humidity barrier.

Several solutions of an adequate connection of the earth termination on structures with isolated foundation are also illustrated.

Figures 59a and 59b depict connections external to the insulation, so that the insulation is not damaged; figure 59c depicts a bushing through the insulation.

In figure 59b the connection lead is routed through the earth. The corrosion behaviour of such a design should be always considered. The connection can, for example, be made with high-alloy stainless steel, copper or steel with PVC covering.

3.3.3 Type B - Ring earth electrodes

For structures using insulating material such as brickwork or wood with no steel-reinforced foundation, type B arrangement of the earth termination should be installed in compliance with 2.3.3.2 of IEC 61024-1.

In order to reduce the equivalent earth resistance, type B earthing arrangement may be improved, if necessary, by adding vertical earth electrodes, or radial earth electrodes complying with 2.3.3.2 of IEC 61024-1. Figure 2 of IEC 61024-1 gives the requirements regarding the minimum length of earth electrodes.

A type B earth electrode should be installed in accordance with 2.3.5 of IEC 61024-1, more than 1 m from the structure and at a depth of 0,5 m or more and it should entirely surround the structure to be protected.

This clearance and depth are optimum in normal soil for potential control to protect living creatures in the vicinity of the structure wall. In countries with low winter temperatures the appropriate depth of earth electrodes should be considered.

Type B earth electrodes also perform the function of potential equalization between the down-conductors at ground level, since the various down-conductors give different potentials due to the unequal distribution of lightning currents in them due, for example, to variations in the earth resistance. The different potentials result in a flow of equalizing currents through the ring earth electrode, so that the maximum rise in potential is reduced and the equipotential bonding systems connected to it within the structure are brought to approximately the same potential. This is a pre-requisite for the validity of dimensioning of the proximity of installations in accordance with 3.1 of IEC 61024-1.

Where structures belonging to different owners are built close to each other, it is often not possible to install a ring earth electrode that will fully surround the structure.

In this case the efficiency of the earth-termination system is somewhat reduced, since the conductor ring acts partly as a type B electrode, partly as a foundation earth, and partly as an equipotential bonding conductor.

Where large numbers of people frequently assemble in an area adjacent to the structure to be protected, further potential control for such areas should be provided. More ring earth electrodes should be installed at distances of approximately 3 m from the first and subsequent ring conductors. The ring electrodes further from the structure should be installed more deeply

de terre les plus éloignées de la structure soient enterrées plus profond, c'est-à-dire que celles qui sont situées à 4 m de la structure soient enterrées à 1 m, celles qui sont éloignées de 7 m soient à une profondeur de 1,5 m et celles à une distance de 10 m soient enterrées à 2 m. Il convient que ces prises de terre en boucle soient connectées au premier conducteur en boucle par des conducteurs de traverse.

Si la zone voisine de la structure est recouverte d'une couche de 150 mm à 200 mm de pierres ou d'asphalte de faible conductivité, une protection des personnes est réalisée pour usage occasionnel.

3.3.4 Type A – Prises de terre radiales et verticales

Il convient que les prises de terre radiales soient installées à la base des conducteurs de descente à l'aide de bornes d'essais. Les électrodes radiales peuvent se terminer par des électrodes verticales, si approprié.

Il y a lieu que chaque conducteur de descente soit pourvu d'une prise de terre.

Il convient que dans une prise de type A, la longueur maximale de chaque prise en terre telle qu'indiquée à la figure 2 de la CEI 61024-1 soit respectée. Il y a lieu que cette disposition respecte le paragraphe 2.3.3.1 de la CEI 61024-1.

Il est recommandé que la longueur de l'électrode verticale de terre soit égale à la moitié de celle donnée à la figure 2 de la CEI 61024-1.

La figure 60 montre une disposition A avec conducteur de foudre conforme au tableau 5 de la CEI 61024-1, enfoui dans le sol au moyen d'armatures particulières. Cette technique présente plusieurs avantages et évite les bornes et jonctions dans le sol. Des électrodes verticales ou penchées sont enfouies à l'aide de marteaux.

Il existe d'autres types d'électrodes verticales. Il est important d'assurer une connexion permanente sur toute la longueur de l'électrode pendant la durée de vie du système de protection.

La technique d'enfouissement d'un conducteur guidé permet la mesure continue de la résistance de terre lors de cette opération. Le guidage peut être interrompu dès que la résistance de terre cesse de décroître. Des électrodes complémentaires peuvent être installées en un emplacement plus approprié.

Il convient que l'électrode de terre soit suffisamment séparée des autres câbles et services dans le sol et qu'elle puisse dévier de sa position initiale pendant le guidage. La distance D dépend de la tenue aux chocs, de la résistivité ρ du sol et du courant dans l'électrode.

La figure 54 montre une disposition A et la figure 55 une combinaison des dispositions A et B conforme à 2.3.2 de la CEI 61024-1.

Dans une disposition A, les électrodes verticales sont préférées car elles sont plus efficaces et donnent une valeur de prise de terre plus stable dans la plupart des sols par rapport à des électrodes horizontales.

S'il existe un risque d'accroissement de la résistance de terre de la couche superficielle (par exemple assèchement), il est souvent nécessaire d'utiliser des électrodes de plus grande longueur enterrées profondément.

Il convient que les prises de terre radiales soient installées à une profondeur de 0,5 m ou plus. Dans les pays à température hivernale basse, l'électrode quand elle est enterrée plus profond n'est pas située dans le sol gelé, ce qui induit une faible conductivité. D'autre part, installer les électrodes en profondeur permet de répartir les différences de potentiel à la surface du sol et réduire le danger pour les personnes. Pour éviter les variations saisonnières, les électrodes verticales sont préférées.

Si une disposition A (voir 2.3.3.1 de la CEI 61024-1) est prévue, l'équipotentialité est réalisée au moyen de barres et de conducteurs d'équipotentialité dans la structure.

below the surface, i.e., those at 4 m from the structure at a depth of 1 m, those at 7 m from the structure at a depth of 1,5 m and those at 10 m at a depth of 2 m. These ring earth electrodes should be connected to the first ring conductor by means of radial conductors.

When the area adjacent to the structure is covered with a 150 mm to 200 mm thick slab of asphalt of low conductivity, sufficient protection is provided for people making occasional use of the area.

3.3.4 Type A - Radial and vertical earth electrodes

Radial earth electrodes should be connected to the lower ends of the down-conductors by using test joints. Radial earth electrodes may be terminated by vertical earth electrodes if appropriate.

Each down-conductor should be provided with an earth electrode.

In a type A earth electrode arrangement the maximum length of each electrode as given in figure 2 of IEC 61024-1 should be applied. The earth electrode arrangement should comply with 2.3.3.1 of IEC 61024-1.

The length of vertical earth electrodes should be 0,5 times the length given in figure 2 of IEC 61024-1.

Figure 60 shows a type A earth electrode where a lightning conductor according to table 5 of IEC 61024-1 is pushed into the soil using special driving rods. This earthing technique has several practical advantages and avoids the use of clamps and joints in the soil. Sloped or vertical earth electrodes are generally hammered in.

There are also other types of vertical electrodes. It is essential to ensure a permanent conducting connection along the whole length of the electrode during the service life of the LPS.

Applying this technique to a wire driven into the soil by means of driving rods, continuous measurement of the earthing resistance is possible during this operation. The driving may be interrupted as soon as the earthing resistance stops decreasing. Additional electrodes can then be installed on a more suitable location.

The earth electrode should have sufficient separation from existing cables and metal pipes in the earth, and due allowance should be made for the earth electrode departing from its intended position during driving. The distance D depends on the electric impulse strength and resistivity ρ of the soil and the current in the electrode.

Figure 54 shows a type A earthing arrangement and figure 55 a combination of a type B and type A earthing arrangement according to 2.3.2 of IEC 61024-1.

In the type A arrangement, vertical earth electrodes are more cost-efficient and give more stable earthing resistances in most soils than horizontal electrodes.

If there is a danger of an increase in resistance near to the surface (e.g. through drying out), it is often necessary to employ deep-driven earth electrodes of greater length.

As mentioned the above radial earth electrodes should be installed at a depth of 0,5 m or deeper. A deeper electrode ensures that in countries in which low temperatures occur during the winter, the earth electrode is not situated in frozen soil (which exhibits extremely low conductivity). An additional benefit is that deeper earth electrodes give a reduction of the potential differences at the earth surface and thus lower step voltages and thus reduce the danger to living creatures on the earth surface. To achieve a seasonally stable earthing resistance vertical electrodes are preferred.

When type A earthing arrangement (see 2.3.3.1 of IEC 61024-1) is provided, the necessary potential equalization should be achieved by means of equipotential bonding conductors and bonding bars within the structure.

Il convient que la distance minimale D dans le sol entre les prises de terre et les autres conducteurs présents (non connectés au système de protection) soit estimée comme suit:

$$D \approx b \rho^{0,4} k_c^{0,5}$$

où

b est le paramètre lié au niveau de protection et est donné dans le tableau 7;

k_c est donné dans le tableau 2;

ρ est la résistivité moyenne du sol en ohm mètres ($\Omega \cdot m$).

En pratique, pour un sol de résistivité inférieure à 1 000 $\Omega \cdot m$, la distance D est comprise entre 1,0 m et 4,0 m.

3.3.5 Prises de terre dans un sol caillouteux

Lors de nouvelles constructions, il convient d'incorporer une prise de terre à fond de fouille dans le béton. Même si cette prise de terre a peu d'effet dans un sol caillouteux, elle joue le rôle de conducteur d'équipotentialité.

Des prises de terre complémentaires ont lieu d'être connectées aux conducteurs de descente et à la prise de terre de fond de fouille au niveau des bornes d'essai.

Si une prise de terre de fond de fouille n'existe pas, il convient de la remplacer par une disposition B, prise de terre en boucle. Si la prise de terre ne peut être installée dans le sol et doit être posée en surface, il y a lieu de la protéger contre les chocs mécaniques.

Il convient que des prises de terre radiales proches de la surface soient recouvertes de pierres ou encastrées dans du béton pour leur protection mécanique.

Si des routes passent à proximité de la structure, il convient d'installer si possible une prise de terre en boucle sous les routes. Si cela n'est pas possible sur toute la longueur de la portion de route, il y a lieu qu'une telle équipotentialité soit au moins prévue au voisinage des conducteurs de descente.

Pour le contrôle du potentiel dans des cas particuliers, il convient de prendre une décision pour, soit installer une boucle complémentaire au voisinage de l'entrée de la structure, soit d'augmenter artificiellement la résistivité de la couche de surface du sol.

3.3.6 Prises de terre dans des zones étendues

Des implantations industrielles comportent en général de nombreuses structures entre lesquelles circulent des canalisations de puissance et de traitement des données.

Les prises de terre de telles structures sont très importantes pour la protection de l'installation électrique. Une faible impédance de terre réduit les différences de potentiel entre structures et les problèmes de compatibilité.

Les structures devront être prévues avec des électrodes à fond de fouille et des dispositions complémentaires A et B conformes à 2.3 de la CEI 61024-1 afin d'obtenir une faible impédance de terre.

Il y a lieu de réaliser l'interconnexion entre prises de terre, prises de terre à fond de fouille et conducteurs de descente sur les bornes d'essai. Il convient aussi que quelques bornes soient aussi connectées aux armatures d'équipotentialité du système intérieur de protection contre la foudre.

The minimum distance D in soil between the earth electrodes and other conductors in the soil (which should not be connected to the LPS) should be estimated as follows:

$$D \approx b\rho^{0,4} k_c^{0,5}$$

where

b is a parameter related to the protection level and is given in table 7 of this guide;

k_c is given in table 2;

ρ is the average resistivity of soil in ohm metres ($\Omega\cdot\text{m}$).

In practice, in soil with a resistivity below 1 000 $\Omega\cdot\text{m}$ the distance D ranges between 1,0 m and 4,0 m.

3.3.5 Earth electrodes in rocky soil

During construction, a foundation earth electrode should be built into the concrete foundation. Even where a foundation earth electrode has a reduced earthing effect in rocky soil, it still acts as an equipotential bonding conductor.

At the test joints additional earth electrodes should be connected to the down-conductors and to the foundation earth electrodes.

Where a foundation earth electrode is not provided, a type B arrangement (a ring earth electrode) should be used instead. If the earth electrode cannot be installed in the soil and has to be mounted on the surface, it should be protected against mechanical damage.

Radial earth electrodes lying on or near the earth surface should be covered by stones or embedded in concrete for mechanical protection.

When the structure is situated close to a road, if possible, a ring earth electrode should be laid beneath the road. However, where this is not possible over the whole length of the exposed road segment, such equipotential control should be provided at least in the vicinity of the down-conductors.

For potential control in individual cases a decision should be made as to whether a further partial ring should be installed in the vicinity of the structure entrance, or to artificially increase the resistivity of the surface layer of the soil.

3.3.6 Earth-termination systems in large areas

Typically an industrial plant comprises a number of associated structures, between which a large number of power and signal cables are installed.

The earth-termination systems of such structures are very important for the protection of the electrical system. A low impedance earth system reduces the potential difference between the structures and so reduces the interference injected into the electrical links.

A low earth impedance can be achieved by providing the structure with foundation earth electrodes and additional type B and type A earth arrangements which should comply with 2.3 of IEC 61024-1.

Interconnections between the earth electrodes, the foundation earth electrodes and the down-conductors should be installed at the test joints. Some of the test joints should also be connected to the equipotential bars of the internal LPS.

Il convient qu'un conducteur de terre, et dans le cas de cheminements étendus, que plusieurs conducteurs de terre soient installés au dessus de ces cheminements afin de réduire la probabilité de coup de foudre direct à proximité de ces câbles.

Par interconnexion des terres de diverses structures, un réseau maillé de terre est réalisé comme indiqué à la figure 61.

Cette figure montre la conception d'un réseau de terre maillé avec des tranchées entre structures pour la protection contre la foudre.

3.3.7 Dispositions contre la corrosion des réseaux de terre

Il est recommandé de connecter des électrodes de terre en acier galvanisé dans le sol aux armatures du béton par des éclateurs capables d'écouler une partie importante du courant de foudre (voir tableau 6 de la CEI 61024-1 pour les dimensions des conducteurs de connexion). Une connexion directe, dans le sol, augmenterait de manière significative le risque de corrosion.

Il y a lieu d'utiliser de l'acier galvanisé pour les électrodes seulement si des éléments en acier incorporés dans le béton ne sont pas directement connectés aux électrodes dans le sol.

Des rubans en acier galvanisé comme électrodes de terre en fond de fouille peuvent être installés dans les fondations en béton et peuvent être directement connectés aux tiges de renforcement en acier. Voir aussi annexe A, figures A.6 et A.10.

Si des canalisations métalliques enfouies sont reliées à l'équipotentialité et à la prise de terre, les matériaux des canalisations, si elles ne sont pas isolées, doivent être de même nature que ceux des conducteurs de terre. Les canalisations avec revêtement protecteur de peinture ou asphalte sont considérées comme non isolées, voir aussi 2.1.4, note 1 de la CEI 61024-1. Si l'usage du même matériau n'est pas possible, il convient d'isoler les canalisations des structures équipotentielles par des sections isolées qui seront pontées par des éclateurs. Il convient que ce pontage par éclateur soit aussi réalisé si des pièces isolées sont installées pour la protection cathodique des canalisations. Il y a lieu que les éclateurs soient capables d'écouler une partie importante du courant de foudre.

Si les conducteurs en cuivre ou inox sont connectés aux armatures du béton, il est recommandé que les bornes et la surface voisine des conducteurs en contact avec le béton subissent un traitement anti-corrosion.

Il convient que les conducteurs avec gaine de plomb ne soient pas directement mis dans le béton. Il y a lieu de les traiter anti-corrosion par revêtement ou manchonnage. Les conducteurs peuvent être protégés par une gaine en PVC.

Il y a lieu que les bornes de connexion d'entrée dans le sol soient telles que leur tenue à la corrosion soit réalisée sur une longueur de 0,3 m au-dessus et en dessous du sol au moyen de gainage anti-corrosion et de manchonnage.

Il convient que les matériaux utilisés pour les bornes entre conducteurs du sol présentent la même tenue à la corrosion que les conducteurs de terre. La connexion par vissage n'est généralement pas admise sauf si ces bornes subissent un traitement anti-corrosion après la réalisation de la connexion. Une bonne expérience a été acquise avec des joints manchonnés.

Les points de soudure doivent être protégés contre la corrosion.

La corrosion des métaux dans le sol est l'un des problèmes à prendre en considération.

An earthing conductor and, in the case of wider cable routes, a number of earthing conductors should be installed above cable routes in order to reduce the probability of direct lightning strikes in the cables.

By interconnection of earth of a number of structures, a meshed earthing system is obtained as shown in figure 61.

This figure shows the design of a meshed earth electrode network, including cable trenches, between associated structures of lightning protected buildings.

3.3.7 Measures against corrosion of earth-termination systems

Galvanized steel earth electrodes in soil should be connected to the steel reinforcement in concrete by spark gaps capable of conducting a substantial part of the lightning current (see table 6 of IEC 61024-1 for the dimension of connecting conductors). A direct connection, in the soil, would significantly increase risk of corrosion.

Galvanized steel shall be used for earth electrodes in soil only when no steel parts incorporated in the concrete are directly connected to the earth electrode in soil.

Galvanized steel strips, as foundation earth electrodes, may be installed in concrete and may be directly connected to the steel reinforcing rods. See also figures A.6 and A.10 of annex A.

If metal pipes are put in soil and are connected to the equipotential bonding system and to the earth termination system, the material of the pipes, where these are not insulated, and the material of the conductors of the earth system should be identical. Pipes with a protective covering of paint or asphalt are treated as being not insulated, see also 2.1.4, note 1 of IEC 61024-1. When use of the same material is not possible, the pipe-work system should be isolated from the plant sections connected to the equipotential bonding system by means of insulated sections. The insulated sections should be bridged by means of spark gaps. Bridging by spark gaps should also be performed where insulated pieces are installed for cathodic protection of pipe-work. Spark gaps should be capable of conducting a substantial part of the lightning current.

When copper or stainless steel conductors are connected to the reinforcing rods within concrete, the joints and the nearby surface of the conductors in contact with the concrete should be provided with an anti-corrosion binding.

Conductors with lead sheaths should not be directly installed in concrete. Conductors with lead sheaths should be protected against corrosion by provision of either anti-corrosion bindings or by means of shrunk-on sleeving. Conductors may be protected by a PVC covering.

Earth-termination conductors at the entry point to the soil should be protected against corrosion for a length of 0,3 m above and below the soil surface by means of anti-corrosion wrappings or shrunk-on sleeving.

The materials used for the joints between conductors in the soil should have identical corrosion behaviour to that of the earth-termination conductors. Connection by clamping is not generally permissible except in cases where such connections are provided with effective corrosion protection after making the joint. Good experience has been gained with crimped joints.

Welded joints should be protected against corrosion.

Corrosion of metal in soil always needs very serious consideration.

Les recommandations pratiques suivantes sont:

- il convient que l'aluminium ne soit jamais utilisé pour les prises de terre;
- les conducteurs en acier avec gaines de plomb ne sont pas appropriés comme conducteurs de terre;
- il convient que les conducteurs en cuivre avec gaine de plomb ne soient pas utilisés dans le béton, ni dans des sols à teneur en calcium élevée.

Pour des informations sur le choix des matériaux et de la protection contre la corrosion, voir l'article 5.

4 Réalisation d'une installation intérieure de protection contre la foudre

Pour mieux réaliser un système complet de protection de structure, des dispositions relatives à une installation intérieure de protection contre la foudre sont présentées dans le présent article.

Si de nombreux équipements électroniques sont installés dans la structure, il peut être nécessaire de définir d'autres zones de protection contre la foudre (ZPF) (se référer à la CEI 61312-1).

4.1 Equipotentialité des parties conductrices intérieures

Il y a lieu de prévoir et d'installer une équipotentialité entre les parties conductrices intérieures, les éléments conducteurs extérieurs, les réseaux électriques de puissance et les alimentations des systèmes de traitement des données (par exemple ordinateurs et systèmes de sécurité), par des liaisons courtes et si nécessaire, des parafoudres. Les équipotentialités sont conformes à la CEI 60364.

Une disposition d'équipotentialité est présentée en figure 62.

Il convient que les barres d'équipotentialité soient situées de manière que les connexions à la prise de terre ou aux ceinturages soient courtes.

Il est préférable d'installer la barre d'équipotentialité sur la paroi interne d'un mur extérieur, proche du sol et du tableau général de distribution et rigidement reliée à la prise de terre comprenant l'électrode de terre en boucle, la terre de fond de fouille et la terre naturelle comme les armatures interconnectées si possible.

Dans les structures en béton armé conformes à 1.3 de la CEI 61024-1, les armatures peuvent être utilisées pour l'équipotentialité. Dans ce cas, il est recommandé d'incorporer dans les parois un réseau maillé complémentaire de bornes terminales soudées ou boulonnées, décrit à l'annexe 1 et de le connecter aux barres d'équipotentialité par des conducteurs soudés.

Les figures A.6 et A.10 montrent l'installation de conducteurs complémentaires en acier doux, liaisons équipotentialité en acier, à incorporer dans le béton permettant la soudure des conducteurs de connexion pour l'équipotentialité.

Il convient que la section minimale d'une barre d'équipotentialité soit de 50 mm^2 en cuivre ou en acier galvanisé. Il convient que toutes les parties conductrices intérieures de dimensions significatives telles que rails, grues, planchers métalliques, canalisations et services électriques soient connectées à l'équipotentialité la plus proche par un conducteur court au niveau du sol et à d'autres niveaux si la distance de séparation définie par 3.2 de la CEI 61024-1, ne peut être maintenue. Il y a lieu que les barres d'équipotentialité et analogues résistent aux courants présumés.

Pour les structures à parois renforcées, seule une petite fraction du courant de foudre s'écoulera dans ces conducteurs. La figure 63 montre la conception d'une installation de protection d'une structure desservant des services de télécommunication dans laquelle les armatures en acier sont utilisées comme composants du système de protection intérieur et d'équipotentialité.

Les figures 64, 65 et 66 illustrent les dispositions d'équipotentialité dans des structures à points d'entrée multiples de services extérieurs.

Practical experience shows that:

- aluminium should never be used as an earth electrode;
- lead-sheathed steel conductors are not suitable for use as earth conductors;
- lead-sheathed copper conductors should not be used in concrete nor in soil with a high calcium content.

For information on selection of materials and corrosion protection, see clause 5.

4 Construction of an internal LPS

To make it easier to construct a complete LPS of a structure some practical items concerning the design of the internal lightning protection of a common structure are outlined in this guide.

Where much electronic equipment is installed in a structure it may be necessary to define other lightning protection zones (LPZ) (refer to IEC 61312-1).

4.1 Equipotential bonding of internal conductive parts

Bonding should be provided and installed in such a way that the internal conductive parts, the external conductive parts and the electrical power and communication systems (for example computers and security systems) can be bonded by short bonding conductors, and where necessary, by including surge protective devices (SPD). All bonding should comply with IEC 60364.

A bonding bar arrangement is shown in figure 62.

The bonding bars should be located so that they are connected to the earth-termination system or to the horizontal ring conductors with short conductors.

The bonding bar is preferably installed at the inner side of an outer wall near ground level, close to the main low-voltage power distribution box and closely connected to the earth-termination system comprising the ring earth electrode, the foundation earth electrode and the natural earth electrode such as the interconnected reinforcing steel, where applicable.

In reinforced concrete structures complying with 1.3 of the IEC 61024-1, the reinforcement may be used for equipotential bonding. In this case an additional meshed network of welded or bolted terminal joints, described in annex A, should be installed in the walls, to which the bonding bars should be connected via welded conductors.

Figures A.6 and A.10 show the construction of additional conductors made of mild steel, steel bonding connectors, to be laid in concrete and which allow welding of connecting conductors used for bonding purposes.

The minimum cross-section for a bonding conductor or a bonding connector should be 50 mm² copper or galvanized steel. All internal conductive parts of significant size, such as elevator rails, cranes, metal floors, pipes and electrical services, should be bonded to the nearest bonding bar by a short bonding conductor at ground level and at other levels if the safety distance according to 3.2 of IEC 61024-1 cannot be maintained. Bonding bars and other bonding parts should withstand the prospective lightning currents.

In structures with reinforced walls only a minor fraction of the total lightning current is expected to flow through the bonding parts. Figure 63 shows an example of the design of an internal LPS of a structure used for telecommunication services in which the steel reinforcement is used as a component of the internal LPS and lightning equipotential and bonding system.

Figures 64, 65 and 66 illustrate bonding arrangements in structures with multiple-point entries of external services.

4.2 Equipotentialité des services extérieurs

Il y a lieu que les éléments conducteurs extérieurs et les alimentations de puissance et de communication pénètrent dans le bâtiment au niveau du sol et en un point commun, voir figures 67 et 68.

Il convient que la barre d'équipotentialité à ce point commun soit reliée par des conducteurs courts de la prise de terre.

La figure 70 donne un exemple de pénétration dans une structure comportant des matériels et des liaisons de communication.

Si, pour diverses raisons, les éléments conducteurs extérieurs et les alimentations de puissance et de communication pénètrent des points différents, il convient que plusieurs barres soient installées aussi proches que possible de la prise de terre, par exemple: terre en boucle et proches de l'armature et de la prise de terre de la structure, si possible.

Il convient que si une disposition A est présente, les barres d'équipotentialité soient connectées individuellement aux électrodes et, en complément, par un conducteur de ceinturage interne ou externe formant une boucle partielle (voir figure 67).

Au-dessus du sol, pour la pénétration d'éléments conducteurs de plusieurs canalisations, il convient que les barres d'équipotentialité soient reliées à un conducteur horizontal de ceinturage interne ou externe, lequel est connecté aux conducteurs de descente du système et éventuellement aux armatures du béton.

Il y a lieu de relier le conducteur de ceinturage aux armatures et autres éléments analogues de la structure, à intervalles réguliers de distance moyenne égale à la distance entre conducteurs de descente donnée au tableau 3 de la CEI 61024-1.

Pour les bâtiments conçus principalement comme centres informatiques de communication et d'autres structures avec des prescriptions de niveau faible d'effets d'induction de l'IEMF, il convient que le conducteur de ceinturage soit connecté à l'armature, typiquement tous les 5 m (CEI 61312-1).

Pour l'équipotentialité des services extérieurs dans des bâtiments en béton armé contenant des installations importantes de communication et d'ordinateurs, et pour des structures avec des demandes CEM sévères, il convient d'utiliser des "bagues conductrices" à connexions multiples aux armatures et autres éléments métalliques.

Voir exemple figure 70 illustrant l'installation d'un système intérieur de protection d'une structure en béton armé.

Le tableau 6 de la CEI 61024-1 est applicable pour le dimensionnement des conducteurs d'équipotentialité pour liaison des éléments conducteurs extérieurs transportant une partie importante du courant de foudre, par exemple plus de 25 % du courant de foudre.

4.3 Protection contre les effets des courants induits dans les installations intérieures

Les courants dans les conducteurs du système de protection extérieur peuvent induire des surtensions excessives dans les boucles des installations intérieures par couplage électromagnétique. En plus des dispositions de protection contre la foudre décrites en 4.1 et 4.2, les effets de ces courants de foudre peuvent être réduits par la réalisation des dispositions données à l'annexe B.

4.2 Equipotential bonding of external services

The external conductive parts and the electrical power and communication lines should preferably enter the structure near ground level at a common location, see examples of the internal LPS construction shown in figures 67 and 68.

The bonding bar at this common location of entry should be connected with short bonding conductors to the earth-termination system.

Figure 70 gives an example of the construction of the inlet of the structure enclosing the main communication equipment of a communication link.

When for some reason the external conductive parts and the electrical power and communication lines have to enter the structure at different locations, and therefore need several bonding bars to be installed, the bonding bars should be connected as closely as possible to the earth termination system, i.e. the ring earth electrode, and to the reinforcement of the structure and the foundation earth electrode of the structure, if applicable.

When type A earthing arrangement is applied to the LPS the bonding bars should be connected to individual earth electrodes and in addition they should be interconnected by an internal ring-conductor or an internal conductor forming a partial ring (see figure 67).

For above earth surface entries of external services the bonding bars should be connected to a horizontal ring conductor inside or outside the outer wall which should be bonded to the down-conductors of the LPS as well as to the metallic reinforcement of the structure, if applicable.

The ring conductor should be connected to the steel reinforcement and other metallic elements of the structure, at regular subdivisions of the distance between the down-conductors as stated in table 3 of the IEC 61024-1.

In buildings principally designed for computer centres, communication buildings and other structures with requirements for low level of LEMP induction effects, the ring conductor should be connected to the reinforcement typically every 5 m (see IEC 61312-1).

For the bonding of external services in reinforced concrete buildings which contain large communication or computer installations, and for structures where EMC demands are severe, a gland plate having multiple connections to the metallic reinforcement of the structure or other metallic elements should be used.

Figure 70 gives an example of a construction of an internal LPS in a structure of steel-reinforced concrete.

Table 6 of the IEC 61024-1 should be applied for dimensioning the bonding conductors for bonding the external conductive parts which could carry a substantial part of the lightning current, for example more than 25 % of the total lightning current.

4.3 Protection against effects of induced currents in internal installations

Currents in the conductors of the external LPS may induce excessive over-voltages in the conductor loops of the internal installations by the effect of magnetic coupling. In addition to the performance of lightning protection measures described in 4.1 and 4.2, the effects of these lightning currents can be essentially mitigated by implementing the lightning protection measures given in annex B.

5 Choix des matériaux

5.1 Matériaux

Les matériaux et leurs conditions d'utilisation sont indiqués au tableau 4 de la CEI 61024-1.

Les dimensions des conducteurs de capture, de descente et de terre en différents matériaux tels que cuivre, aluminium et fer sont données au tableau 5 de la CEI 61024-1.

Il convient que l'épaisseur minimale des revêtements métalliques, des canalisations métalliques et coffrets utilisés comme composants naturels de capture satisfasse au tableau 2 de la CEI 61024-1 et que les dimensions minimales des conducteurs d'équipotentialité soient conformes aux tableaux 6 et 7 de la CEI 61024-1.

5.2 Protection contre la corrosion

Il y a lieu que les systèmes de protection soient construits avec des matériaux résistant à la corrosion tels que cuivre, aluminium, inox et acier galvanisé. Il est recommandé que le matériau des tiges de capture et des fils soit électrochimiquement compatible avec le matériau des éléments de connexion et de montage, et qu'il soit choisi de manière à ce que la corrosion n'apparaisse pas en réaction à une atmosphère corrosive ou à l'humidité.

Il y a lieu d'éviter les connexions entre différents matériaux, autrement elles doivent être protégées.

Il convient que des éléments en cuivre ne soient jamais installés au dessus d'éléments galvanisés sauf si l'élément en acier est protégé contre la corrosion (voir 5.2.1).

Des particules très fines sont issues du cuivre entraînant des dommages corrosifs importants sur les éléments en acier galvanisé même si ces éléments ne sont pas en contact avec le cuivre.

Il convient que les conducteurs en aluminium ne soient pas directement fixés sur des surfaces de parois en calcaire comme le béton et le plâtre et ne soient jamais utilisés dans le sol.

5.2.1 Métaux dans le sol et dans l'air

La corrosion des métaux dépend du type de métal et de la nature de son environnement. Les facteurs tels que moisissure, sels solubles (électrolytes), degré d'aération, température et évolution de l'électrolyse rendent les conditions très complexes.

De plus, les conditions locales alliées aux contaminants naturels ou industriels peuvent entraîner de grandes variations de par le monde. Pour résoudre les problèmes particuliers de corrosion, la consultation d'experts est fortement recommandée.

L'effet de contact entre matériaux non similaires, lié aux phénomènes d'électrolyse dus à l'environnement, provoque un accroissement de la corrosion du métal le plus anodique et une diminution de la corrosion du métal le plus cathodique.

La corrosion du métal le plus cathodique n'est pas nécessairement empêchée. L'électrolyte de cette réaction peut être l'eau dans le sol ou la terre humide, une condensation des structures retenue dans des fissures dans des structures au-dessus du sol.

Afin de réduire la corrosion, il est nécessaire:

- d'éviter l'utilisation de métaux non appropriés dans un environnement agressif;
- d'éviter des contacts entre métaux non similaires, de couples galvaniques ou électrochimiques différents;

5 Selection of materials

5.1 Materials

LPS materials and conditions of use are listed in table 4 of the IEC 61024-1.

Dimensions of LPS conductors, including the air-termination conductors, down-conductors and earth-termination conductors, for different materials such as copper, aluminium and iron are described in table 5 of IEC 61024-1.

Minimum thickness of metal sheets or metal pipes and containers used as natural air-termination components should comply with table 2 of IEC 61024-1, and minimum dimensions for bonding conductors with tables 6 and 7 of IEC 61024-1.

5.2 Protection against corrosion

The LPS should be constructed of corrosion-resistant materials such as copper, aluminium, inox and galvanized steel. The material of the air termination rods and air-termination wires should be electrochemically compatible with the material of the connection elements and the mounting elements, and it should have a good corrosion resistance to a corrosive atmosphere or moisture.

Connections between different materials should be avoided, otherwise they are to be protected.

Copper parts should never be installed above galvanized parts unless the steel part is provided with protection against corrosion (see 5.2.1).

Extremely fine particles are shed by copper parts, which result in severe corrosive damage to galvanized parts even where the copper and galvanized parts are not in direct contact.

Aluminium conductors should not be directly attached to calcareous building surfaces such as concrete and plaster, and should never be used in soil.

5.2.1 Metals in soil and air

Corrosion of metal will occur at a rate depending on the type of metal and the nature of its environment. Environmental factors such as moisture, dissolved salts (thus forming an electrolyte), degree of aeration, temperature and extent of movement of electrolyte combine to make this condition a very complex one.

In addition, local conditions, with different natural or industrial contaminants can cause significant variations to be observed in different parts of the world. For resolution of particular corrosion problems, consultation with corrosion specialists is strongly recommended.

The effect of contact between dissimilar metals, in association with a surrounding or partially surrounding electrolyte will lead to increased corrosion of the more anodic metal, and to decreased corrosion of the more cathodic metal.

The corrosion of the more cathodic metal will not necessarily be fully prevented. The electrolyte for this reaction may be ground water or soil with some moisture content, or even moisture condensate in above-ground structures, where it is retained by crevices.

In order to minimize corrosion in an LPS:

- avoid the use of unsuitable metals in an aggressive environment;
- avoid contact of dissimilar metals, of substantially differing electrochemical or galvanic activity;

- d'utiliser des sections convenables des conducteurs, des brides d'équipotentialité, des bornes conductrices et des fixations pour assurer une résistance suffisante à la corrosion dans les conditions de fonctionnement;
- de prévoir des remplissages et des isolants dans les bornes non soudées pour éviter l'humidité;
- de prévoir des gaines, revêtements isolants des métaux sensibles aux fumées ou fluides corrosifs à l'emplacement de l'installation, comme approprié;
- de considérer les effets galvaniques des autres parties métalliques reliées à la terre;
- d'éviter toute corrosion naturelle cathodique (par exemple cuivre) et tout contact entre cuivre et un métal anodique (par exemple acier).

Pour satisfaire aux conditions ci-dessus, les précautions suivantes sont données comme exemples particuliers:

- l'épaisseur minimale ou le diamètre d'un élément conducteur est de 1,5 mm pour l'acier, l'aluminium, le cuivre ou ses alliages et des alliages nickel/chrome/fer;
- si des contacts entre métaux non similaires peu espacés (ou se touchant) peuvent entraîner une corrosion, et que ces contacts ne sont pas électriquement nécessaires, une distance d'isolement est recommandée;
- les conducteurs en acier non protégés sont galvanisés à chaud, épaisseur 50 μm ;
- les conducteurs en aluminium ne sont pas directement enterrés ou encastrés dans le béton, sauf s'ils sont gainés de façon durable et appropriée;
- les jonctions cuivre/aluminium sont, si possible, à éviter. Dans le cas contraire, les jonctions sont soudées ou réalisées en utilisant une couche intermédiaire de Al/Cu;
- les fixations et gaines des conducteurs en aluminium sont réalisées en matériau similaire et les sections protégées contre les intempéries;
- le cuivre est généralement approprié pour la mise à la terre, sauf dans des conditions acides, en présence d'oxygène, de sulfate ou d'ammoniaque. Il est toutefois rappelé qu'il crée des dommages galvaniques aux matériaux ferreux qui lui sont connectés. Ceci peut être l'objet d'une consultation d'expert, surtout en cas de protection cathodique;
- les conducteurs de toiture et de descente soumis à des flux agressifs devront être prévus pour résister à la corrosion, par exemple en utilisant des aciers à haute teneur (>16,5 % Cr, >2 % Mo, 0,2 % Ti, 0,12-0,22 N);
- l'acier inoxydable ou les alliages nickel peuvent être utilisés pour des raisons de résistance à la corrosion. Dans des conditions anaérobiques, comme dans l'argile, il se corrode aussi vite que l'acier doux. De plus, s'il est utilisé en schéma TN-C-S, il est soumis à la même corrosion électrolytique que l'acier ou le cuivre;
- les jonctions entre l'acier et le cuivre ou ses alliages dans l'air sont, si elles ne sont pas soudées, étamées ou revêtues d'une couche durable et résistante à l'humidité;
- le cuivre et ses alliages sont soumis à la corrosion en présence de fumées ammoniacales et il convient de ne pas utiliser ces matériaux pour les fixations dans ces applications spécifiques;
- en ambiance maritime, il convient que toutes les connexions soient soudées ou rendues étanches.

5.2.2 Métaux dans le béton

L'encastrement de l'acier galvanisé ou non dans le béton provoque une stabilisation du potentiel naturel du métal, en raison de l'environnement uniformément alcalin. De plus, le béton présente une résistivité élevée uniforme, de l'ordre de 200 $\Omega\cdot\text{m}$ ou plus.

Ainsi, les tiges de renfort dans le béton sont beaucoup plus résistantes à la corrosion que si elles étaient à l'air, même si elles sont reliées extérieurement à des matériaux d'électrodes plus cathodiques.

- use an adequate cross-section of conductors, bonding straps and conducting terminals and clamps to ensure sufficient corrosion life for the conditions of service;
- provide appropriate filling or insulating material in not welded conductor joints, so as to exclude moisture;
- sleeve, coat or isolate metals sensitive to corrosive fumes or fluids to the location of the installation as appropriate;
- consider galvanic effects of other metallic items to which the earth electrode is to be bonded;
- avoid designs where natural corrosion products from a cathodic metal (e.g. copper) could impinge on, and plate out as metallic copper on an anodic metal (e.g. steel).

To comply with the foregoing, the following precautions are cited as specific examples:

- the minimum thickness or diameter of a strand should be 1,5 mm for steel, aluminium, copper, cuprous alloy or nickel/chrome/iron alloys;
- where contact between closely spaced (or touching) dissimilar metals could cause corrosion, but such contact is not electrically necessary, then an insulating spacer is recommended;
- steel conductors not otherwise protected should be hot-dipped galvanized to 50 μm thickness;
- aluminium conductors should not be buried directly in the ground nor set in or attached directly to concrete, unless they are completely sleeved with a durable, close-fitting insulating sleeve;
- copper/aluminium joints should be avoided wherever possible. In cases where they cannot be avoided, the connections should be welded or made employing an intermediate layer of AlCu sheet;
- fasteners or sleeves for aluminium conductors should be of similar metal, and of adequate cross-section to avoid failure by adverse weather conditions;
- copper is suitable for use in most earth electrode applications, except for acid, oxygenated ammoniacal or sulphurous conditions. However, it should be remembered that it will cause galvanic damage to ferrous materials to which it is bonded. This may require specialist corrosion advice, particularly when a cathodic protection scheme is used;
- for roof conductors and down-conductors exposed to aggressive flue gases, particular attention must be paid to corrosion, e.g. through use of high-alloy steels (>16,5 % Cr, >2 % Mo, 0,2 % Ti, 0,12 - 0,22 N);
- stainless steel or other nickel alloys may be used for some corrosion resistance requirements. Also in anaerobic conditions, such as clay, they will corrode almost as fast as mild steel. Furthermore, if bonded to a TN-C-S protective earth, they are almost as prone to electrolytic corrosion as copper or steel;
- joints between steel and copper or copper alloys in air, if not welded, should be either fully tin plated or fully coated with a durable moisture-resistant coating;
- copper and copper alloys are subject to stress corrosion cracking in ammonical fumes and these materials should not be used for fastenings in these specific applications;
- in marine/coastal areas, all conductor joints should be welded or effectively fully sealed.

5.2.2 Metals in concrete

The embedding of steel or galvanized steel in concrete causes a stabilization of the natural potential of the metal, due to the uniformly alkaline environment. In addition, the concrete is of uniformly relatively high resistivity – of the order of 200 $\Omega\cdot\text{m}$ or higher.

Consequently the reinforcing bars in concrete are considerably more resistant to corrosion than when they are exposed, even if connected externally to more cathodic-electrode materials.

L'utilisation de renforts comme conducteurs de descente ne pose pas de problèmes de corrosion si les points d'accès au dispositif de capture sont étanches, par exemple par résine époxy d'épaisseur convenable.

Il convient de ne pas utiliser des connexions en cuivre en lieu et place de connexions en acier en raison de la corrosion du béton humide.

6 Maintenance des installations de protection contre la foudre

6.1 Remarques générales

Pour effectuer la maintenance et les inspections du système de protection, il convient de coordonner les deux programmes, inspection et maintenance.

Il y a lieu que l'inspection et la maintenance soient spécifiées par une autorité ou par le concepteur ou l'installateur en accord avec le propriétaire de la structure ou de son représentant attitré et satisfassent à 4.2 de la CEI 61024-1.

La maintenance d'un système de protection est importante même si le concepteur du SPF a pris des précautions particulières pour la protection contre la corrosion et a dimensionné les composants en fonction de l'exposition particulière contre les dommages de la foudre et les intempéries, en complément des prescriptions de la CEI 61024-1.

Les composants perdent de leur efficacité au cours des ans en raison de la corrosion, des intempéries, des chocs mécaniques et des impacts de foudre.

Il convient que les caractéristiques mécaniques et électriques d'un système de protection soient maintenues toute la durée de sa vie afin de satisfaire aux prescriptions de la CEI 61024-1.

Si des modifications sont effectuées sur le bâtiment ou sur l'équipement ou si sa vocation est modifiée, il peut être nécessaire de modifier le système de protection.

6.2 Procédure de maintenance

Il y a lieu d'établir des programmes de vérifications périodiques pour tous les systèmes.

Leur fréquence dépend:

- de la dégradation liée à la météorologie et à l'environnement;
- de l'exposition au danger de foudre;
- du niveau de protection donné à la structure.

Il est recommandé d'établir les procédures de maintenance pour chaque système de protection et qu'elles fassent partie du programme général de maintenance de la structure protégée.

Il convient qu'un programme de maintenance comporte une liste de vérifications de manière que la maintenance soit régulièrement suivie et comparée avec les vérifications antérieures.

Il y a lieu qu'un programme de maintenance comporte les informations suivantes:

- vérification de tous les conducteurs et des composants;
- vérification de la continuité électrique de l'installation;
- mesure de la résistance de terre;
- vérification des parafoudres;
- re-fixation des composants et des conducteurs;
- vérification de l'efficacité du système après modifications ou extensions de la structure et de ses installations.

The use of reinforcing metal such as down-conductors does not pose any significant corrosion problems provided the access points for air terminations are well encapsulated, e.g. by epoxy resin putty of adequate thickness.

Copper bonding connectors should not be used instead of steel bonding connectors because of corrosion in moist concrete.

6 Maintenance of lightning protection systems

6.1 General remarks

To carry out maintenance work and to perform inspections of LPS the two programmes, inspection and maintenance, should be coordinated.

The inspection and maintenance programmes should be specified by an authority, or by the LPS designer or the LPS installer, in conjunction with the owner of the structure or his appointed representative and should comply with 4.2 of IEC 61024-1.

Maintenance of an LPS is important even though the LPS designer has taken special precautions to provide corrosion protection and has dimensioned the LPS components according to their particular exposure to lightning damage and weather elements in addition to the requirements of the IEC 61024-1.

LPS components tend to lose their effectiveness over the years because of corrosion, weather-related damage, mechanical damage and damage from lightning strokes.

The mechanical and electrical characteristics of the LPS should be fully maintained throughout the entire life-time of the LPS in order to comply with the design requirements of IEC 61024-1.

If modifications are carried out on the building or on the equipment or the purpose for which the building is utilized is altered, it may be necessary to modify the lightning protection system.

6.2 Maintenance procedure

Periodic maintenance programmes should be established for all LPS.

The frequency of maintenance procedures is dependent on the following:

- weather and environment related degradation;
- exposure to actual lightning damage;
- protection level assigned to the structure.

LPS maintenance procedures should be established for each particular LPS and should become a part of the overall maintenance programme for the structure.

A maintenance programme should contain a list of routine items that should serve as a check list so that definite maintenance procedures will be followed regularly in order to make it possible to compare recent results with previous ones.

A maintenance programme should contain provisions for the following:

- checking of all LPS conductors and system components;
- checking the electrical continuity of the LPS installation;
- measuring the resistance to earth of the earth termination;
- checking surge protective devices (SPD);
- re-fastening of components and conductors;
- checking that the effectiveness of the LPS has not been reduced after additions to, or changes in, the structure and its installations.

6.3 Documentation de maintenance

Il convient que des enregistrements complets soient effectués lors des procédures de maintenance et qu'ils comportent les actions correctives prises ou à prendre.

Il y a lieu qu'ils fournissent des moyens d'évaluation des composants et des installations.

Il convient que ces enregistrements servent de base pour la révision et la modernisation des programmes de maintenance et qu'ils soient conservés avec les rapports de conception et d'inspection.

7 Inspection des installations de protection contre la foudre

7.1 Remarques générales

Il convient que l'inspection d'un système de protection soit menée par un spécialiste et soit conforme à 4.2.1 et 4.2.2 de la CEI 61024-1.

Il y a lieu que l'inspecteur reçoive le rapport de conception du système comportant la documentation nécessaire telle que les critères de conception, leur description et les schémas techniques. Il convient, en outre, qu'il reçoive les précédents rapports de maintenance et d'inspection.

Si des contrôles réguliers des installations électriques de la structure sont prescrits par les autorités nationales, il y a lieu de contrôler le système de protection en même temps.

Il est recommandé de contrôler tous les systèmes de protection:

- lors de leur installation, particulièrement lors de l'incorporation de composants dans la structure qui deviendront inaccessibles;
- après l'achèvement de leur installation.

L'intervalle entre deux inspections est déterminé par les facteurs suivants:

- classification de la structure ou de la zone protégée, particulièrement pour les effets consécutifs aux impacts;
- niveau de protection;
- environnement local, par exemple en atmosphère corrosive, il convient de réduire l'intervalle;
- les matériaux des composants individuels;
- le type de surface sur laquelle sont fixés les composants;
- la nature du sol et son degré de corrosion.

De plus, il convient d'inspecter un système de protection lors de toute modification ou réparation de la structure protégée et suite à tout impact connu sur le système.

Il est recommandé d'inspecter le système de protection visuellement au moins chaque année. Dans les zones à conditions climatiques extrêmes, il est conseillé d'inspecter le système plus souvent.

Il convient qu'une inspection complète et que des essais soient réalisés tous les deux à six ans. Il convient que les systèmes critiques, par exemple parties soumises à des chocs mécaniques, les parafoudres, l'équipotentialité des câbles et des canalisations, subissent une inspection complète tous les un à quatre ans en fonction de l'utilisation de la structure et de son environnement.

6.3 Maintenance documentation

Complete records should be kept of all maintenance procedures and should include corrective actions taken or required.

Maintenance procedure records should provide a means of evaluating LPS components and the LPS installation.

The LPS maintenance record should serve as a basis for reviewing maintenance procedures as well as for updating maintenance programmes. The LPS maintenance records should be kept together with the LPS design and the LPS inspection reports.

7 Inspection of lightning protection systems

7.1 General remarks

Inspection of the LPS should be conducted by a lightning protection specialist and should comply with 4.2.1 and 4.2.2 of IEC 61024-1.

The inspector should be provided with the LPS design report containing the necessary documentation of the LPS such as design criteria, design description and technical drawings. The LPS inspector should also be provided with previous LPS maintenance and inspection reports.

When regular inspections of the electric power installation of the structure are prescribed by national authorities, the LPS should be inspected at the same time.

All LPS should be inspected at the following occasions:

- during the installation of the LPS, especially during the installation of components which are concealed in the structure and will become inaccessible;
- after the completion of the LPS installation.

The interval between the LPS inspections should be determined by the following factors:

- classification of structure or area protected, especially with regard to the consequential effects of damage;
- level of protection;
- local environment, for example a corrosive atmosphere environment should have a short interval between inspections;
- the materials of the individual LPS components;
- the type of surface to which the LPS components are attached;
- the soil condition and associated corrosion rates.

In addition to the foregoing, an LPS should be inspected whenever any alteration or repairs are made to a protected structure and also following any known lightning discharge to the LPS.

The LPS should be visually inspected at least annually. In some areas where severe weather changes and extreme weather conditions occur it is advisable to visually inspect the system more often.

A total inspection and test should be completed every two to six years. Critical systems, for example, parts of the LPS exposed to severe mechanical stresses, surge protective devices, bonding of cables and pipelines etc., should have a complete inspection every one to four years depending on the utilization of the structure, or depending on the environment in which the protected structure is located.

Le tableau 8 recommande des périodes de vérification, si aucun règlement n'est applicable.

Dans la plupart des régions, et plus particulièrement dans celles soumises à des gradients de températures élevés et à la pluie, la variation de la valeur de la résistance de terre a lieu d'être prise en compte en mesurant la résistivité du sol à divers niveaux et en diverses saisons.

Il convient d'envisager une amélioration de la prise de terre si le profil de résistivité présente de grandes variations par rapport à celui présumé lors de la conception, particulièrement si la résistivité augmente régulièrement entre les inspections.

7.2 Procédure d'inspection

Le but de cet essai est de s'assurer que le système est conforme à la CEI 61024-1.

Cet essai comprend la vérification de la documentation technique, les inspections visuelles, les essais et la documentation.

7.2.1 Vérification de la documentation technique

Il y a lieu de vérifier la documentation technique totalement pour assurer la conformité à la norme et la cohérence avec les schémas d'exécution.

7.2.2 Inspections visuelles

Il convient d'effectuer des inspections visuelles pour s'assurer que:

- le système est en bon état;
- les connexions sont serrées et les conducteurs et bornes présentent une continuité;
- aucune partie n'est affaiblie par la corrosion, particulièrement au niveau du sol;
- les connexions de terre sont intactes;
- tous les conducteurs et composants sont fixés et protégés contre les chocs;
- aucune extension ou modification de la structure protégée n'impose de protection complémentaire;
- aucun dommage du système de protection, des parafoudres et des fusibles n'est relevé;
- l'équipotentialité a été réalisée pour de nouveaux services intérieurs à la structure depuis la dernière inspection et les essais de continuité ont été effectués;
- les conducteurs et connexions d'équipotentialité à l'intérieur de la structure sont intacts;
- les distances de sécurité sont maintenues;
- inspection et essais des conducteurs et des bornes d'équipotentialité, des écrans, du cheminement des câbles et des parafoudres.

7.2.3 Essais

L'inspection complète et les essais comprennent une inspection visuelle complétée par:

- les essais de continuité des parties non visibles lors de l'inspection initiale et qui ne peuvent être contrôlées par inspection visuelle ultérieurement;
- la mesure de la résistance de la prise de terre et de ses électrodes individuelles après déconnexion du reste du système. Il convient de comparer les résultats avec des valeurs précédentes et/ou présentement tolérées pour les conditions du sol prises en compte. Si ces valeurs ont beaucoup varié avec les mêmes méthodes de mesure, il y a lieu d'effectuer des investigations complémentaires pour déterminer les causes des différences.

Table 8 recommends the periods between inspection of the LPS, when no legislative text applies.

In most geographical areas, and especially in areas which experience extreme seasonal changes in temperature and rainfall, the variation of the earthing resistance should be taken into account by measuring the resistivity depth profile in different weather periods.

An improvement of the earthing system should be considered when the resistivity profiles show larger changes in the resistivity than anticipated in the design, and especially when the resistivity increases steadily between inspections.

7.2 Inspection procedure

The purpose of the test is to ensure that the system complies in all respects with IEC 61024-1.

The test comprises checking technical documentation, visual inspections, testing and inspection documentation.

7.2.1 Checking of technical documentation

The technical documentation should be checked for completeness, compliance with the standard and agreement with the plant as executed.

7.2.2 Visual inspections

Visual inspections should be made to ascertain that:

- the system is in good condition;
- there are no loose connections and no accidental breaks in the LPS conductors and joints;
- no part of the system has been weakened by corrosion, especially at ground level;
- all earth connections are intact;
- all conductors and system components are fastened to the mounting surfaces and that components which provide mechanical protection are intact;
- there have not been any additions or alterations to the protected structure which would require additional protection;
- there has been no indication of damage to LPS, to surge protective devices (SPD) or any fuse failures which protect SPDs;
- correct equipotential bonding has been established for any new services or additions which have been made to the interior of the structure since the last inspection, and that continuity tests have been performed;
- bonding conductors and connections inside the structure are present and intact;
- the safety distances are maintained;
- bonding conductors and joints, screening devices, cable routing and surge protective devices have been checked and tested.

7.2.3 Testing

Inspection and testing of the LPS includes visual inspections and should be completed by:

- performing continuity tests especially continuity of those parts of the LPS which were not visible for inspection during the initial installation and which are not available for visual inspection subsequently;
- conducting earth resistance tests of the earth-termination system after disconnecting it from the remainder of the system. These test results should be compared with previous, and/or with currently tolerated values for the soil conditions involved. When it is found that the test values differ substantially from previous values, obtained under the same test procedures, additional investigations should be made to determine the reason for the difference.

7.3 Documentation d'inspection

Il y a lieu d'élaborer des guides d'inspection pour faciliter le travail. Il convient que ces guides contiennent des informations suffisantes pour aider l'inspecteur dans sa méthode, de manière à ce qu'il puisse se documenter sur les parties importantes de l'installation du système, le type et les conditions des composants, les méthodes d'essai et l'enregistrement approprié des données obtenues.

Il est recommandé que l'inspecteur élabore un rapport qui sera conservé avec les rapports de conception, de maintenance et d'inspection antérieurs.

Il convient que le rapport d'inspection comporte les informations suivantes:

- conditions générales des conducteurs de capture et des autres composants de capture;
- niveau général de corrosion et protection contre la corrosion;
- sécurité des fixations des conducteurs et composants;
- mesures de la résistance de la prise de terre;
- écarts par rapport à la CEI 61024-1;
- documentation sur les modifications et les extensions du système et de la structure. De plus, les schémas d'installation et de conception ont lieu d'être revus;
- résultats des essais effectués.

8 Danger de mort

Le risque de mort par foudre dans l'espace protégé par un système de protection conçu et installé selon la CEI 61024-1 est dû à la tension de pas U_s et à la tension de contact U_t .

Selon le rapport CEI 61662, il convient que les conditions de sécurité suivantes soient satisfaites:

8.1 Tension de pas

8.1.1 Disposition de terre A, 2.3.3.1 de la CEI 61024-1:

$$\rho_s \geq 1\,200 \times \rho^{0,215}$$

8.1.2 Disposition de terre B, 2.3.3.2 de la CEI 61024-1:

$$\rho_s \geq 140 \times k_c \times Z$$

8.2 Tension de contact

8.2.1 Disposition de terre A

$$\rho_s \geq 1\,250 \times k_c - 250$$

8.2.2 Disposition de terre B

$$\rho_s \geq 400 \times k_c \times Z - 250$$

où

ρ est la résistivité de profondeur du sol, en ohm mètres;

ρ_s est la résistivité de surface du sol, en ohm mètres;

7.3 Documentation of inspection

LPS inspection guides should be prepared to facilitate LPS inspections. They should contain sufficient information to guide the inspector through the inspection process so that he may document all areas of importance relating to the methods of LPS installations, the type and condition of the LPS components, test methods and the proper recording of the test data obtained.

The inspector should compile an LPS inspection report which should be kept together with the LPS design report and with the LPS previously compiled maintenance and inspection reports.

The LPS inspection report should contain information concerning:

- general conditions of air-termination conductors, and other air-termination components;
- general level of corrosion and the condition of the corrosion protection;
- security of attachment of the LPS conductors and components;
- earth resistance measurements of the earth-termination system;
- any deviation from the requirements of the IEC 61024-1;
- documentation of all changes and extensions of the LPS and any changes to the structure. In addition, the LPS construction drawings and the LPS design description should be reviewed;
- the results of the tests performed.

8 Life hazard

The step voltage U_s and the touch voltage U_t may be hazardous to life in the space protected by an LPS designed and constructed according to IEC 61024-1.

According to IEC 61662, the following safety conditions should be satisfied:

8.1 Step voltage

8.1.1 Earthing type A arrangement, 2.3.3.1 of IEC 61024-1:

$$\rho_s \geq 1\,200 \times \rho^{0,215}$$

8.1.2 Earthing type B arrangement, 2.3.3.2 of IEC 61024-1:

$$\rho_s \geq 140 \times k_c \times Z$$

8.2 Touch voltage

8.2.1 Earthing type A arrangement

$$\rho_s \geq 1\,250 \times k_c - 250$$

8.2.2 Earthing type B arrangement

$$\rho_s \geq 400 \times k_c \times Z - 250$$

where

ρ is the volume resistivity of soil in ohm metres;

ρ_s is the resistivity of the surface layer of soil in ohm metres;

Z est la résistance de terre de choc équivalente (voir tableau 9);

k_c est le coefficient de proximité pour diverses configurations du système de protection selon la CEI 61024-1:

Figure 3, configuration unidimensionnelle $k_c = 1$

Figure 4, configuration bidimensionnelle $k_c = 0,66$

Figure 5, configuration tridimensionnelle $k_c = 0,44$

NOTE – Pour des cas particuliers de k_c , voir 2.7.1.

8.3 Mesures pour réduire la probabilité de choc électrique

La probabilité de choc électrique peut être réduite par les mesures suivantes:

8.3.1 Prises de terre en fond de fouille et composants analogues de dispositions de prise de terre

8.3.1.1 Choc dû à la tension de pas

- diminution de k_c ;
- augmentation du nombre de conducteurs de descente;
- augmentation de la résistivité de surface ρ_s par insertion d'une couche de matériau isolant, par exemple asphalte.

8.3.1.2 Choc dû à la tension de contact

- diminution de k_c ;
- augmentation de la résistivité de surface ρ_s ;
- isolation des masses aux chocs de 100 kV, correspondant à l'isolation minimale de 3 mm EPR.

8.3.2 Electrodes de terre étendues

8.3.2.1 Choc dû à la tension de pas

- augmentation du rapport ρ_s / Z ;
- augmentation de la résistivité de surface ρ_s ;
- augmentation du nombre de conducteurs de descente;
- réduction de la taille de maillage du dispositif de capture.

8.3.2.2 Choc dû à la tension de contact

- augmentation de la résistivité de surface ρ_s ;
- augmentation du nombre de conducteurs de descente;
- réduction de la taille du maillage du dispositif de capture.

Z is the impulse earth resistance of the earth-termination (see table 9);

k_c is the proximity distance coefficient for different configurations of the external LPS according to IEC 61024-1:

Figure 3, one-dimensional configuration $k_c = 1$

Figure 4, two-dimensional configuration $k_c = 0,66$

Figure 5, three-dimensional configuration $k_c = 0,44$

NOTE – For the evaluation of k_c in special situations, see 2.7.1

8.3 Measures to reduce the probability of electric shock

The probability of electric shock may be reduced very effectively by the following measures.

8.3.1 Foundation earth electrodes and similar component earth electrode layout

8.3.1.1 Shock by step voltage

- decreasing the value of k_c ;
- increasing the number of down-conductors;
- increasing the resistivity of the surface layer ρ_s or by inserting a layer of insulating material, e.g. asphalt.

8.3.1.2 Shock by touch voltage

- decreasing the value of k_c ;
- increasing the resistivity of the surface layer ρ_s ;
- provide insulation over the exposed conductor giving a 100 kV lightning impulse withstand voltage, e.g. at least 3 mm cross-linked polyethylene.

8.3.2 Earth termination covering a large area around the structure

8.3.2.1 Shock by step voltage

- increasing the ratio ρ_s/Z ;
- increasing the resistivity of the surface layer ρ_s ;
- increase the number of down-conductors;
- reduce the mesh size of the earth-termination network.

8.3.2.2 Shock by touch voltage

- increasing the resistivity of the surface layer ρ_s ;
- increasing the number of down-conductors;
- reduce the mesh size of the earth-termination network.

Tableau 1 – Procédure pour la protection contre la foudre

<p>1 Concept du système de protection</p> <p>1.1 Tâche et objectif:</p> <ul style="list-style-type: none"> – concept total – niveaux de protection – zones de protection – définition des interfaces – blindage <p>1.2 Personnes impliquées et responsables:</p> <ul style="list-style-type: none"> – concepteur du système de protection – maître d'oeuvre – architecte – constructeur de la structure/ du bâtiment – fournisseur de services pour la structure – divers ingénieurs consultants
<p>2 Conception initiale</p> <p>2.1 Tâche et objectif:</p> <ul style="list-style-type: none"> – schémas – descriptions – planning <p>2.2 Personnes impliquées et responsables:</p> <ul style="list-style-type: none"> – concepteur du système de protection – autres ingénieurs consultants
<p>3 Conception finale</p> <p>3.1 Tâche et objectif:</p> <ul style="list-style-type: none"> – schémas d'exécution – schémas détaillés <p>3.2 Personnes impliquées et responsables:</p> <ul style="list-style-type: none"> – fournisseur du système de protection – ingénieurs consultants – concepteur du système
<p>4 Exécution de la structure, supervision du site et assurance qualité</p> <p>4.1 Tâche et objectif:</p> <ul style="list-style-type: none"> – documentation – modifications d'exécution et schémas détaillés <p>4.2 Personnes impliquées et responsables:</p> <ul style="list-style-type: none"> – fournisseur du système de protection – concepteur et installateur du système de protection – ingénieur de contrôle reconnu
<p>5 Agrément</p> <p>5.1 Tâche et objectif:</p> <ul style="list-style-type: none"> – détermination des conditions présentes et conformité avec les règles et règlements <p>5.2 Personnes impliquées et responsables:</p> <ul style="list-style-type: none"> – contrôleur de la structure – concepteur et installateur – ingénieur de contrôle reconnu
<p>6 Maintenance</p> <p>6.1 Tâche et objectif:</p> <ul style="list-style-type: none"> – détermination de la conformité aux règlements – détermination des modifications de structure et mesures de protection nécessaires – nouvelle conception si besoin <p>6.2 Personnes impliquées et responsables:</p> <ul style="list-style-type: none"> – ingénieur consultant – fournisseur du système de protection – ingénieur de contrôle reconnu – concepteur et installateur

Table 1 – Lightning protection management

1	<p>LPS concept</p> <p>1.1 Task and objective:</p> <ul style="list-style-type: none"> – overall concept – protection levels – protection zones – definition of interfaces – shielding <p>1.2 Involved and responsible:</p> <ul style="list-style-type: none"> – LPS designer – principal – architect – structure/building constructor – structure service contractor – consulting engineers
2	<p>Preliminary design</p> <p>2.1 Task and objective:</p> <ul style="list-style-type: none"> – drawings – descriptions – schedules <p>2.2 Involved and responsible:</p> <ul style="list-style-type: none"> – LPS designer – other consulting engineers
3	<p>Final design</p> <p>3.1 Task and objective:</p> <ul style="list-style-type: none"> – construction drawings – detailed drawings <p>3.2 Involved and responsible:</p> <ul style="list-style-type: none"> – LPS supplier – consulting engineers – LPS designer
4	<p>Structure construction, site supervision and quality assurance</p> <p>4.1 Task and objective:</p> <ul style="list-style-type: none"> – documentation – modification of construction and detailed drawings <p>4.2 Involved and responsible:</p> <ul style="list-style-type: none"> – LPS supplier – LPS designer and LPS installer – authorized LPS test engineer
5	<p>Acceptance</p> <p>5.1 Task and objective:</p> <ul style="list-style-type: none"> – determination of actual condition and compliance with rules and regulations <p>5.2 Involved and responsible:</p> <ul style="list-style-type: none"> – neutral inspector of structures – LPS designer and LPS installer – authorized LPS test engineer
6	<p>Maintenance</p> <p>6.1 Task and objective:</p> <ul style="list-style-type: none"> – determination of compliance with regulations – determination of structure modifications and necessary protection measures – new design, if necessary <p>6.2 Involved and responsible:</p> <ul style="list-style-type: none"> – consulting engineer – LPS supplier – authorized LPS test engineer – LPS designer and LPS installer

Tableau 2 – Valeurs du coefficient k_c

Conducteurs de descente Type de prise de terre	Non interconnectés au niveau du sol	Interconnectés au niveau du sol
Tige simple	1	1
Fil	1	Voir figure 33
Maille	1	Voir figure 34

**Tableau 3 – Valeurs des impédances équivalentes de terre Z et Z_1
selon la résistivité, $\rho(\Omega \cdot m)$, du sol**

ρ $\Omega \cdot m$	Z_1 Ω	Impédance équivalente de terre selon le niveau de protection		
		Z Ω	I	II
100	8	4	4	4
200	13	6	6	6
500	16	10	10	10
1 000	22	10	15	20
2 000	28	10	15	40
3 000	35	10	15	60

Tableau 4 – Longueur de câble à considérer selon l'écran

Conditions pour l'écran	l_c
En contact avec un sol de résistivité ρ ($\Omega \cdot m$)	$l_c \leq 8 \sqrt{\rho}$
Isolé du sol ou dans l'air	l_c : distance entre la structure et le point à la terre le plus proche de l'écran

Tableau 5 – Tenue aux chocs (kV) de l'isolation du câble pour diverses tensions assignées

Tension assignée kV	U_c kV
$\leq 0,05$	5
0,22	15
10	75
15	95
20	125

Table 2 – Values of coefficient k_c

Down-conductors Type of earth termination system	Not interconnected at ground level	Interconnected at ground level
Single rod	1	1
Wire	1	See figure 33
Mesh	1	See figure 34

Table 3 – Equivalent earth resistance values Z and Z_1
according to the resistivity, ρ ($\Omega \cdot m$) of the soil

ρ $\Omega \cdot m$	Z_1 Ω	Equivalent earth resistance related to protection levels		
		Z Ω		
		I	II	III-IV
100	8	4	4	4
200	13	6	6	6
500	16	10	10	10
1 000	22	10	15	20
2 000	28	10	15	40
3 000	35	10	15	60

Table 4 – Cable length to be considered according to the condition of the shield

Conditions of the screen	l_c
In contact with a soil having resistivity ρ ($\Omega \cdot m$)	$l_c \leq 8 \sqrt{\rho}$
Isolated from the soil or in air	l_c = distance between the structure and the closest earthing point of the shield

Table 5 – Impulse withstand voltage (kV) of the cable insulation for different rated voltages

Rated voltage kV	U_c kV
$\leq 0,05$	5
0,22	15
10	75
15	95
20	125

Tableau 6 – Distances recommandées de fixation

Disposition	Distances mm
Conducteurs horizontaux sur des surfaces horizontales	1 000
Conducteurs horizontaux sur des surfaces verticales	500
Conducteurs verticaux	1 000
Conducteurs verticaux au-dessus de 20 m	750
Conducteurs verticaux au-dessus de 25 m	500
NOTE – Ce tableau n'est pas applicable aux fixations incorporées qui peuvent nécessiter un aspect particulier.	

Tableau 7 – Valeurs du paramètre b pour divers niveaux de protection

Niveau de protection	b
I	0,4
II	0,3
III et IV	0,25

Tableau 8 – Intervalles entre inspections du système de protection

Niveau de protection	Intervalle entre deux inspections complètes	Intervalle entre inspections de systèmes critiques
I	2 ans	6 mois
II	4 ans	12 mois
III, IV	6 ans	12 mois

Tableau 9 – Impédance de choc de la prise de terre Z en fonction de la résistivité ρ du sol

Résistivité ρ $\Omega \cdot m$	Niveaux de protection	
	I	II à IV
	Z Ω	Z Ω
100	4	4
200	6	6
500	10	10
1 000	10	20
2 000	10	40
3 000	10	60

Table 6 – Recommended fixing centres

Arrangement	Fixing centres mm
Horizontal conductors on horizontal surfaces	1 000
Horizontal conductors on vertical surfaces	500
Vertical conductors	1 000
Vertical conductors above 20 m	750
Vertical conductors above 25 m	500
NOTE – This table does not apply to built-in type fixings which may require special consideration.	

Table 7 – Values of parameter b for different protection levels

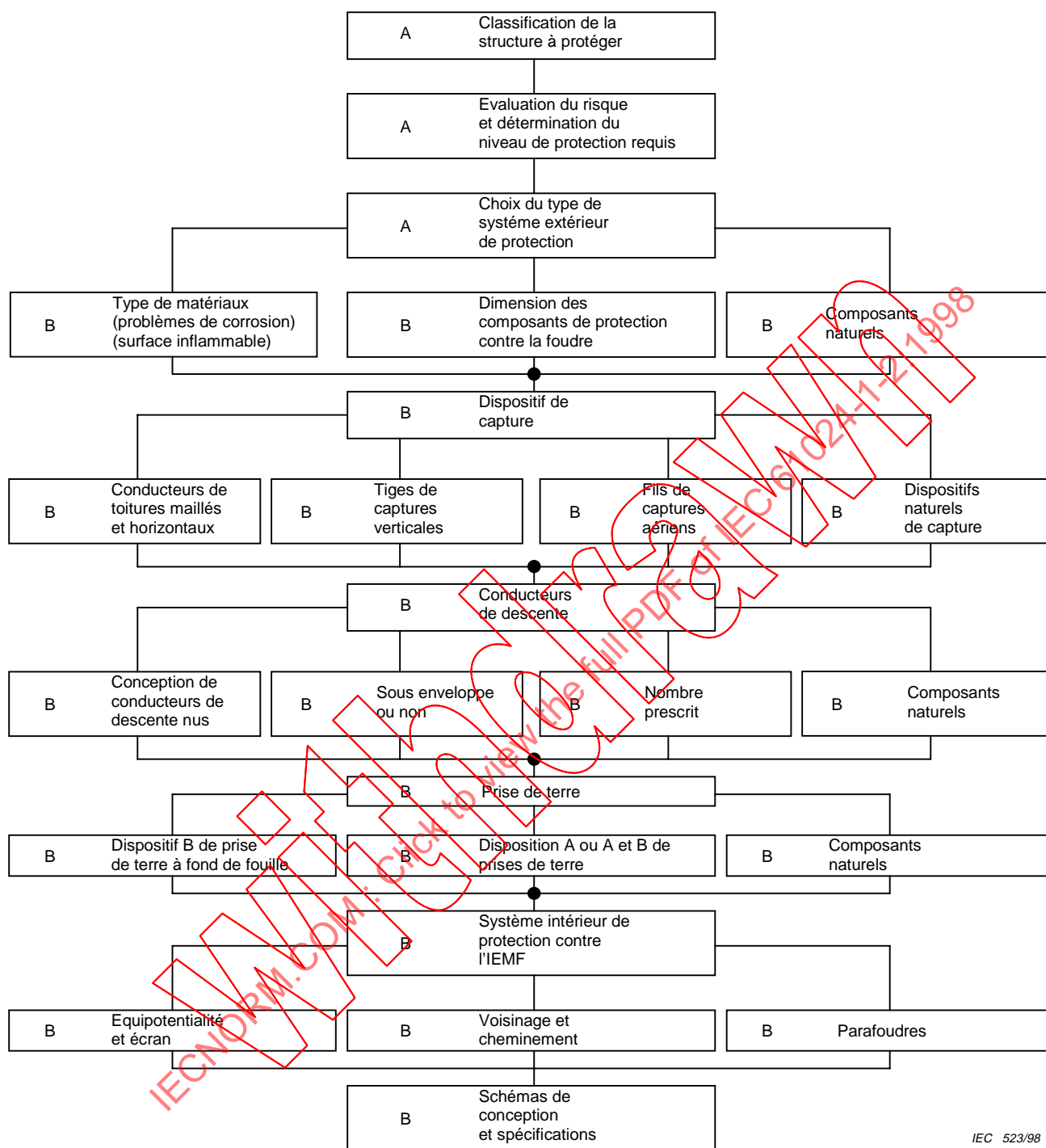
Protection level	b
I	0,4
II	0,3
III and IV	0,25

Table 8 – Period between inspection of LPS

Protection level	Interval between two complete inspections	Interval between inspection of critical systems
I	2 years	6 months
II	4 years	12 months
III, IV	6 years	12 months

Table 9 – The impulse earth resistance of the earth-termination Z as a function of the soil resistivity ρ

Resistivity ρ $\Omega \cdot m$	Protection levels	
	I	II to IV
	Z Ω	Z Ω
100	4	4
200	6	6
500	10	10
1 000	10	20
2 000	10	40
3 000	10	60

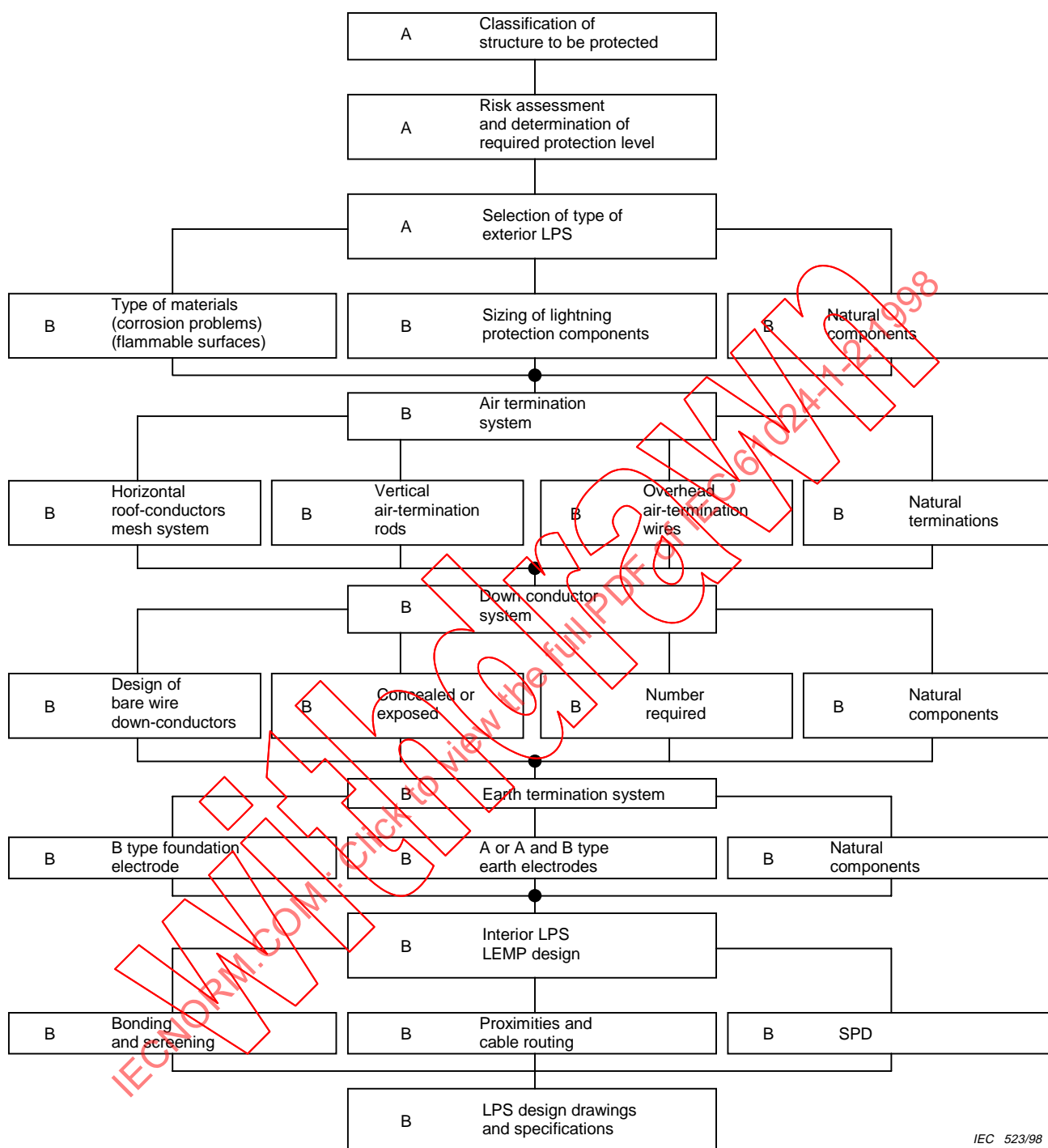


IEC 523/98

NOTE 1 – A se réfère à la CEI 61024-1-1. B se réfère à la présente norme (CEI 61024-1-2)

NOTE 2 – Les interfaces • nécessitent une coopération complète entre l'architecte, l'ingénieur et le concepteur du système de protection.

Figure 1 – Schéma de conception d'une installation de protection contre la foudre (IPF)

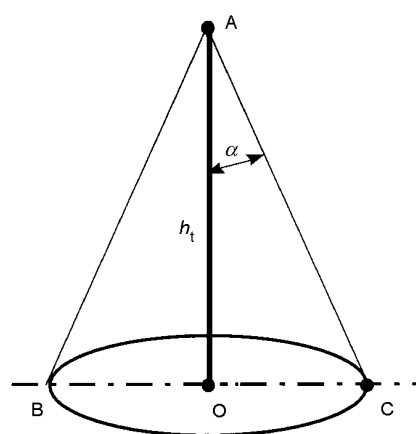


IEC 523/98

NOTE 1 – A refers to IEC 61024-1-1; B refers to this standard (IEC 61024-1-2).

NOTE 2 – Interfaces • require the full cooperation of the architect, engineer and lightning protection designer.

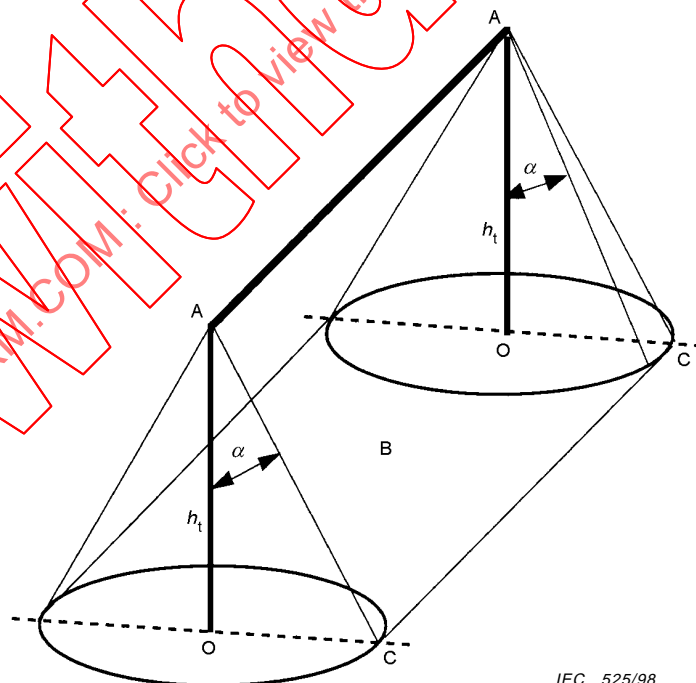
Figure 1 – LPS design flow diagram



IEC 524/98

- A Pointe d'une tige de capture
- B Surface de référence
- OC Rayon de protection
- h_t Hauteur d'une tige de capture au-dessus de la surface de référence
- α Angle de protection conforme au niveau de protection selon le tableau 1 de la CEI 61024-1

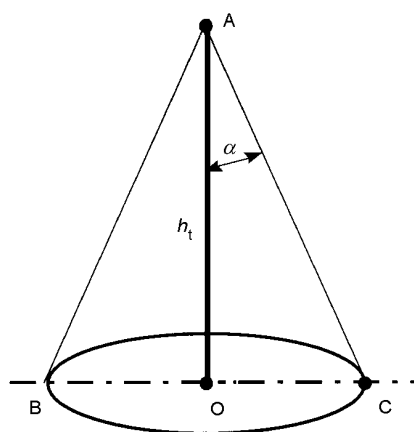
Figure 2 – Espace protégé dans le cône à partir d'un point, par exemple la pointe d'une tige de capture selon la méthode de l'angle de protection conformément au tableau 1 de la CEI 61024-1



IEC 525/98

NOTE – Pour la légende, voir la figure 2.

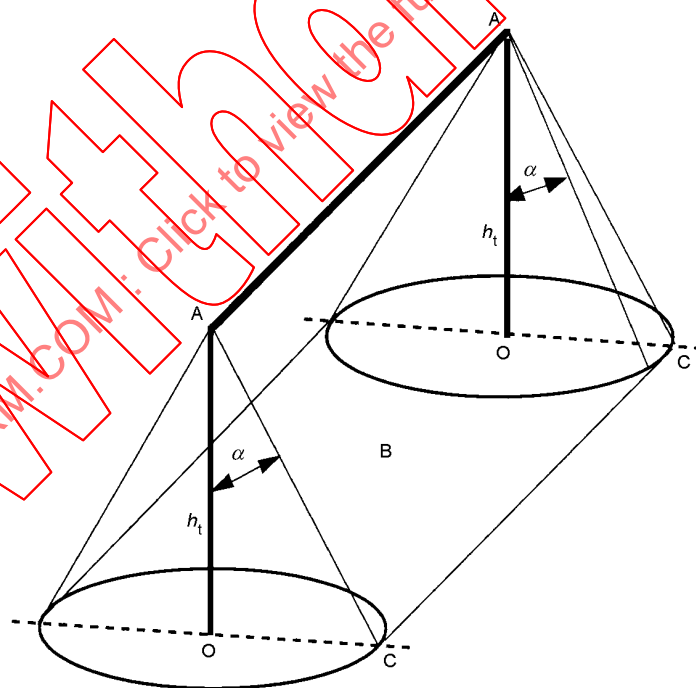
Figure 3 – Espace protégé par un conducteur horizontal de capture selon la méthode de l'angle de protection et conforme au tableau 1 la CEI 61024-1



IEC 524/98

- A Tip of an air termination
- B Reference plane
- OC Radius of protected area
- h_t Height of an air termination rod above the reference plane
- α Protective angle complying with the protection level of table 1 of IEC 61024-1

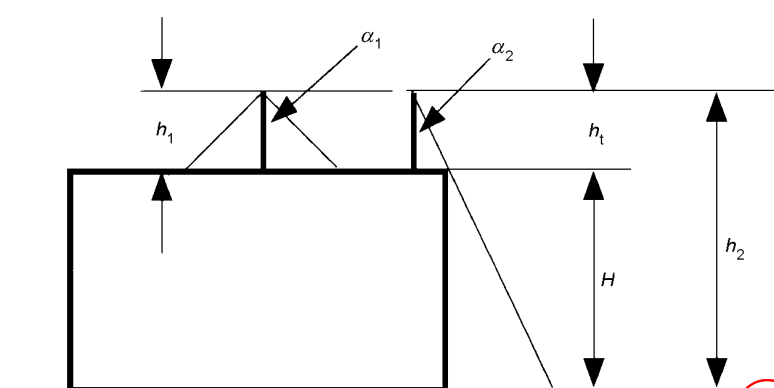
Figure 2 – Protected space within the cone generated by a single point, e.g. the tip, A, of an air-termination rod, according to the protective angle air-termination design method complying with table 1 of IEC 61024-1



IEC 525/98

NOTE – For legend see figure 2.

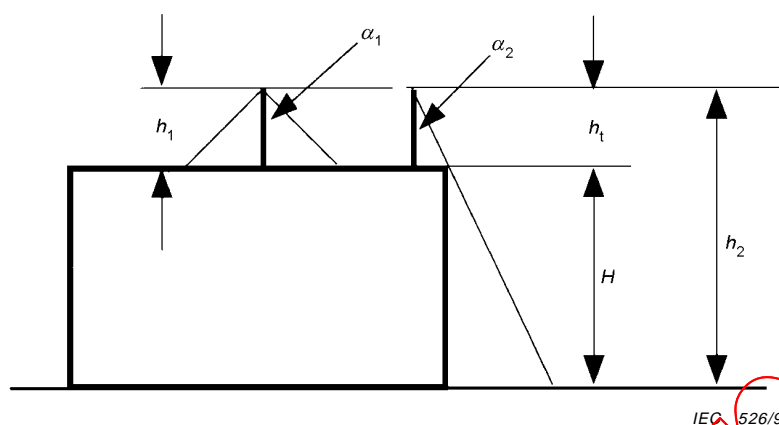
Figure 3 – Protected space generated by a horizontal air-termination conductor, according to the protective angle air-termination design method complying with table 1 of IEC 61024-1



h_t Hauteur physique de la tige de capture.

NOTE – L'angle de protection α_1 correspond à la hauteur de capture $h = h_1$, hauteur au-dessus de la surface du toit (plan de référence) et l'angle de protection α_2 à la hauteur $h_2 = h_1 + H$, hauteur de référence par rapport au sol.

Figure 4 – Conception de dispositif de capture par la méthode de l'angle de protection pour diverses hauteurs, conformément au tableau 1 de la CEI 61024-1

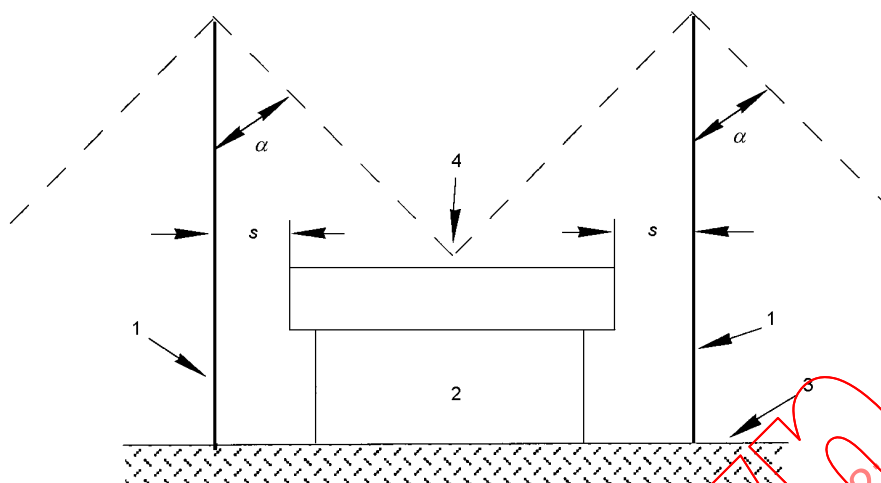


IEC 526/98

h_t is the physical height of an air-termination rod.

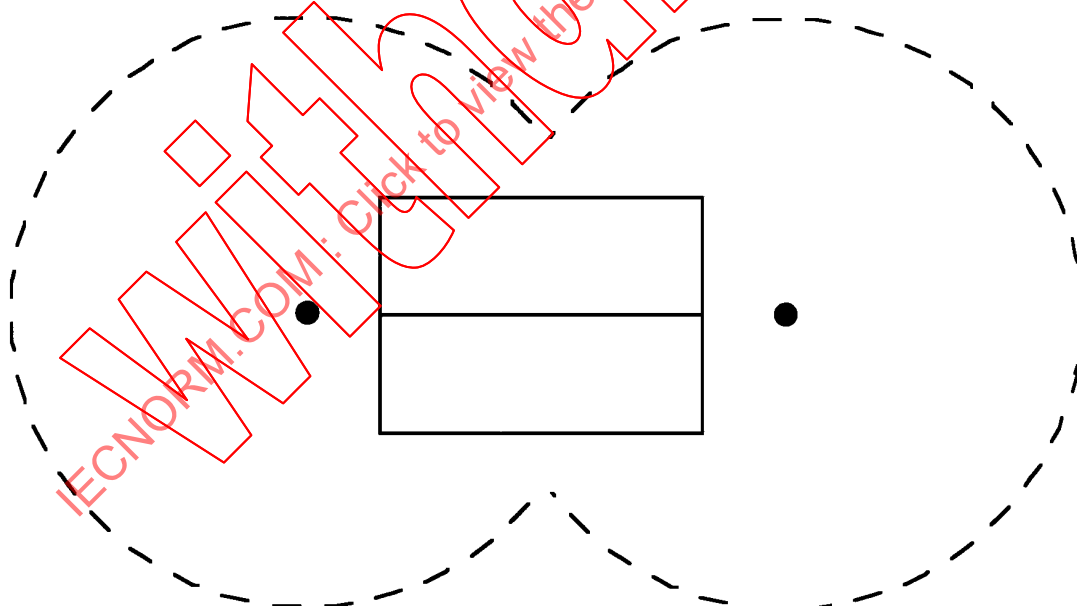
NOTE – The protective angle α_1 corresponds to the air-termination height $h = h_1$, being the height above the roof surface to be measured (reference plane); the protective angle α_2 corresponds to the height $h_2 = h_1 + H$, being the soil reference plane.

Figure 4 – Protective angle method air-termination design for different heights according to table 1 of IEC 61024-1



- 1 Mât de capture
- 2 Structure protégée
- 3 Plan de référence
- 4 Intersection entre les cônes de protection
- s Distance de séparation selon 3.2 de la CEI 61024-1
- α Angle de protection conforme au tableau 1 de la CEI 61024-1

Figure 5a – Projection sur un plan vertical

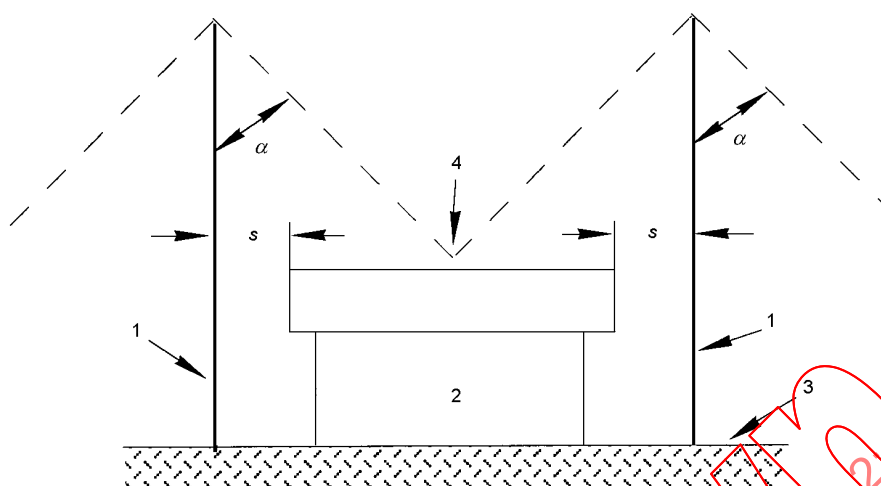


IEC 528/98

NOTE – Les deux cercles indiquent la zone protégée sur le plan de référence.

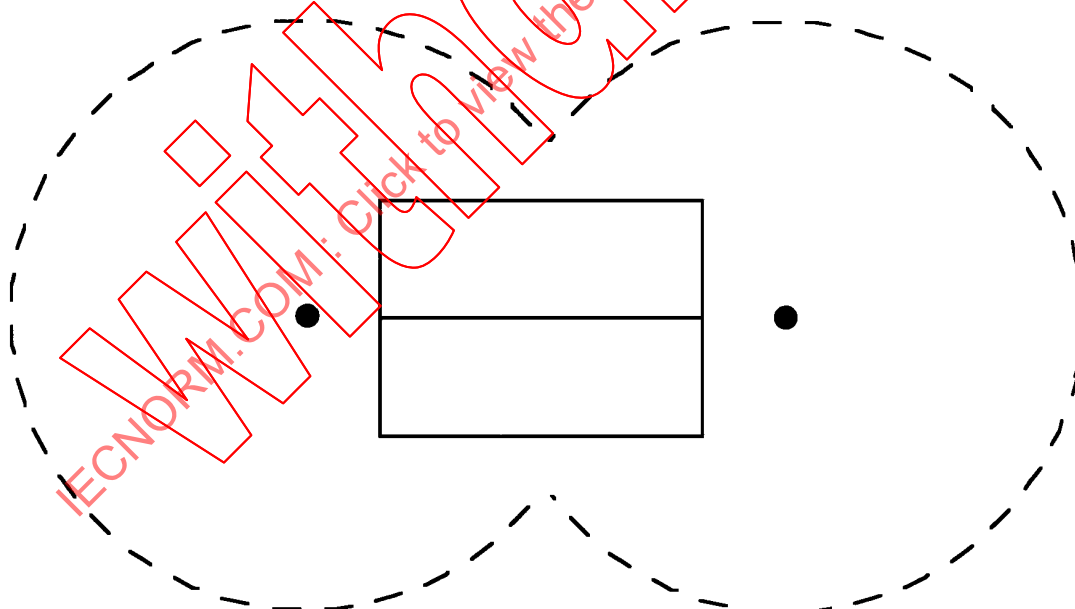
Figure 5b – Projection sur un plan de référence horizontal

Figures 5 – Système de protection isolé utilisant deux mâts de capture isolés, conçu selon la méthode de l'angle de protection



- 1 Air-termination mast
- 2 Protected structure
- 3 Reference plane
- 4 Intersection between protective cones
- s Separation distance according to 3.2 of IEC 61024-1
- α Protective angle complying with table 1 of IEC 61024-1

Figure 5a – Projection on a vertical plane



IEC 528/98

NOTE – The two circles denote the protected area on the reference plane.

Figure 5b – Projection on horizontal reference plane

Figure 5 – Isolated external LPS using two isolated air-termination masts designed according to the protective angle air-termination design method

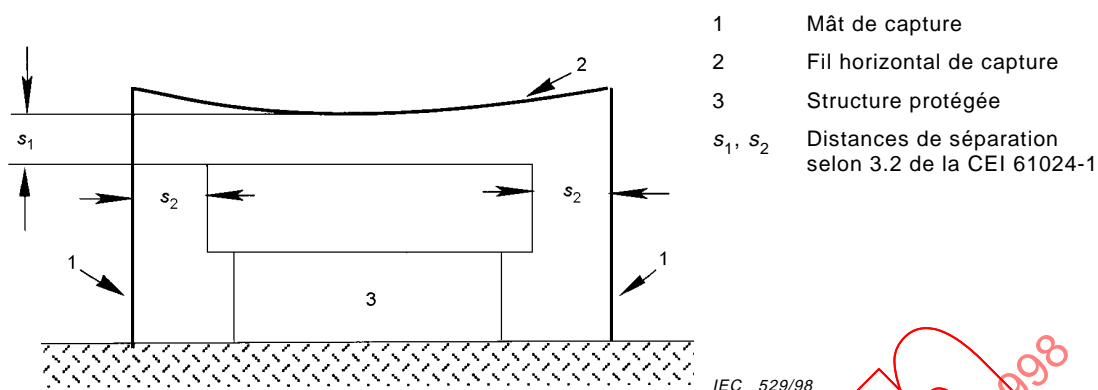


Figure 6a – Projection sur un plan vertical contenant deux mâts

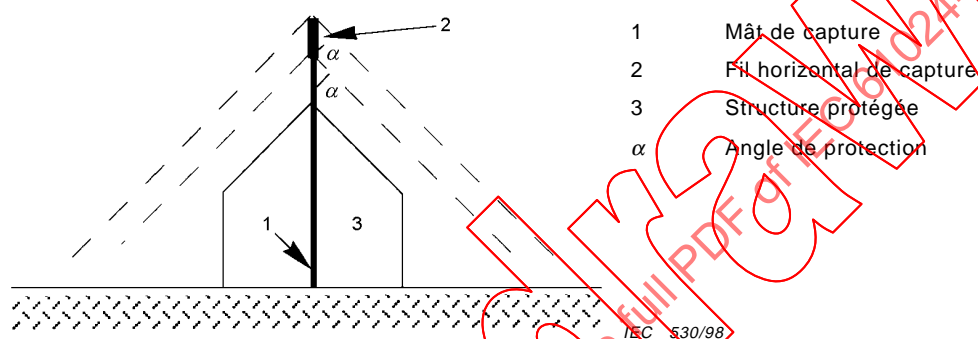
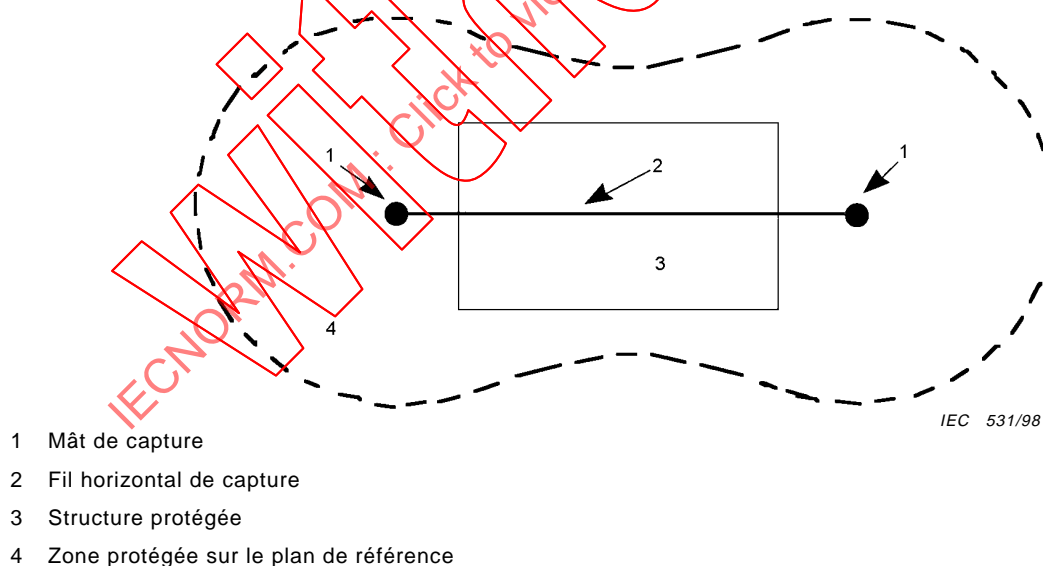


Figure 6b – Projection sur un plan vertical perpendiculaire au plan contenant les deux mâts



NOTE – Il existe un risque d'amorçage si le dispositif de capture dépasse une hauteur de 20 m.

Figure 6c – Projection sur un plan de référence horizontal

NOTE – Le dispositif de capture est conçu selon la méthode de l'angle de protection. L'ensemble de la structure doit être dans le volume protégé. Comparer les figures 6a, 6b et 6c.

Figure 6 – Système de protection isolé avec deux mâts de capture isolés, interconnectés par un conducteur horizontal de capture

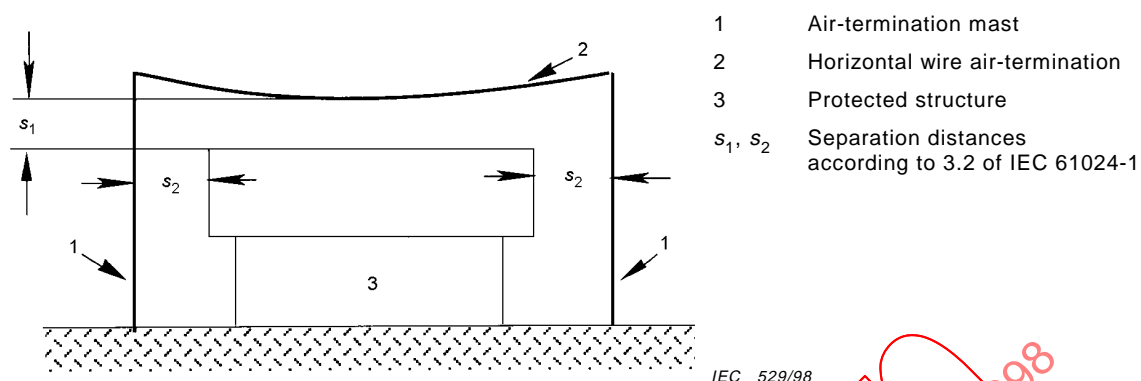


Figure 6a – Projection on a vertical plane containing the two masts

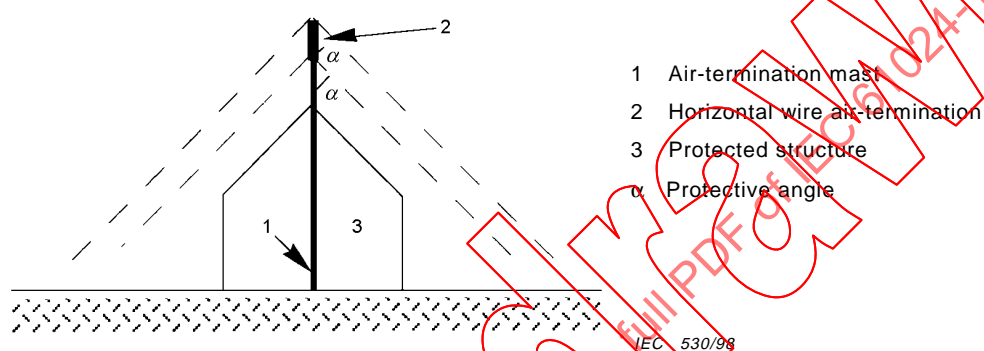
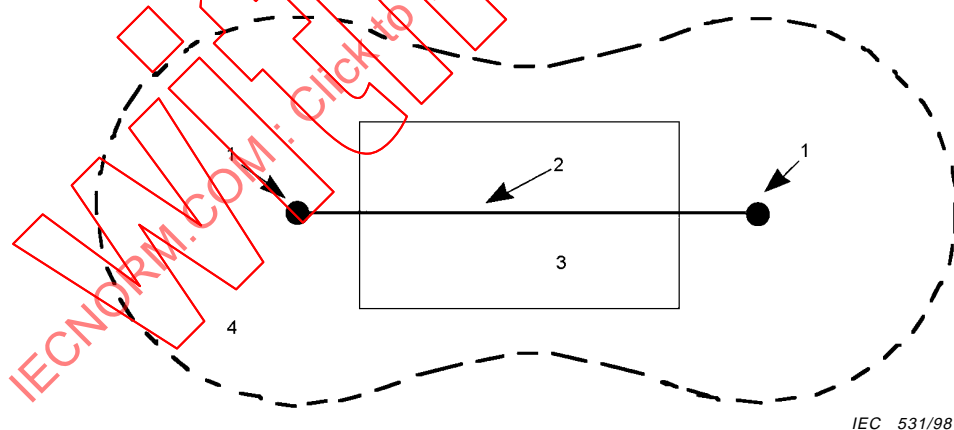


Figure 6b – Projection on a vertical plane perpendicular to the plane containing the two masts



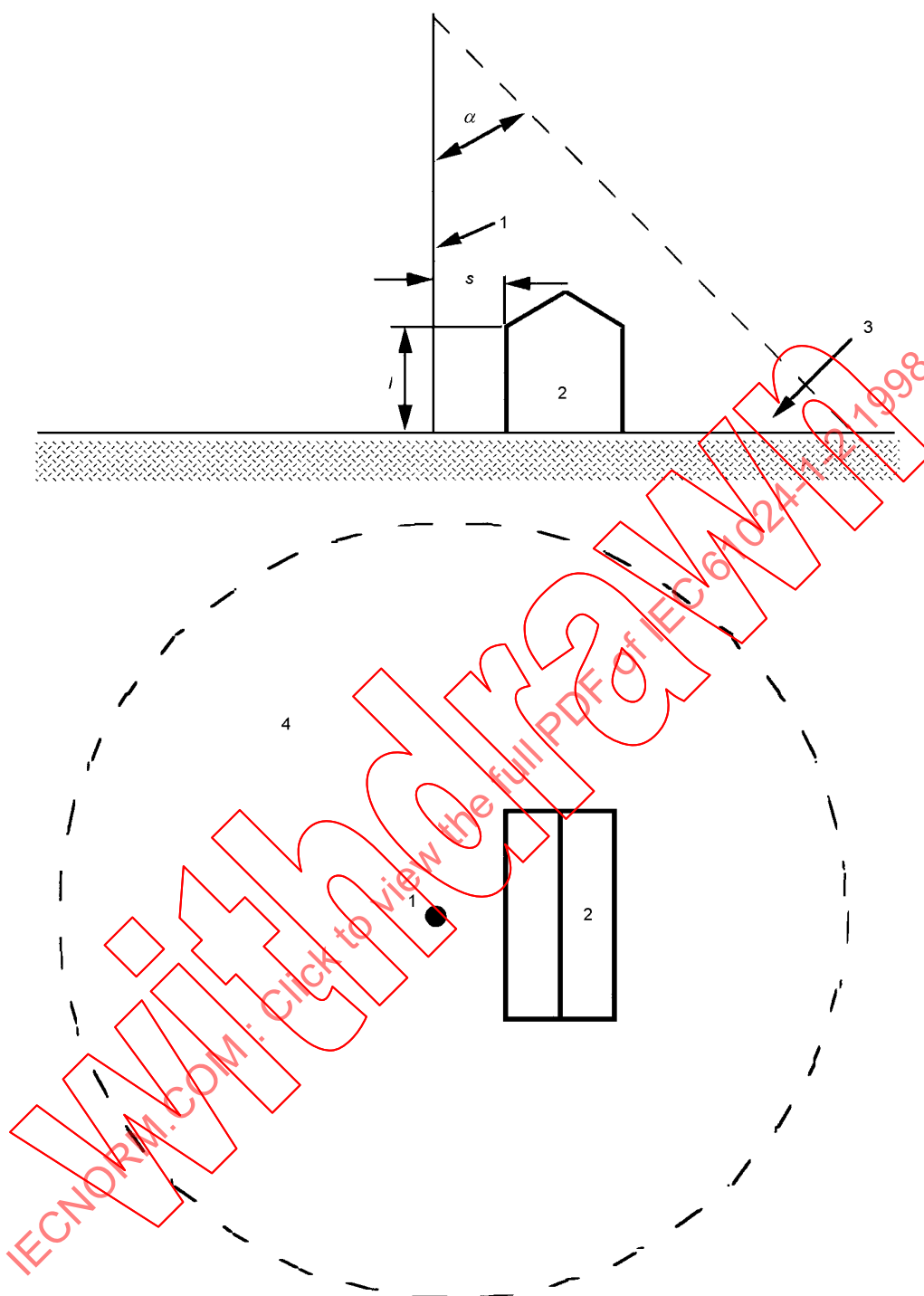
- 1 Air-termination mast
2 Horizontal wire air-termination
3 Protected structure
4 Protected area on the reference plane

NOTE – There is a risk of side flashing if the air termination exceeds a height of 20 m.

Figure 6c – Projection on the horizontal reference plane.

NOTE – The air-termination system is designed according to the protective angle air-termination design method. The whole structure shall be inside the protected volume. Compare figures 6a, 6b and 6c.

Figure 6 – Isolated external LPS consisting of two isolated air-termination masts, interconnected by a horizontal air-termination wire

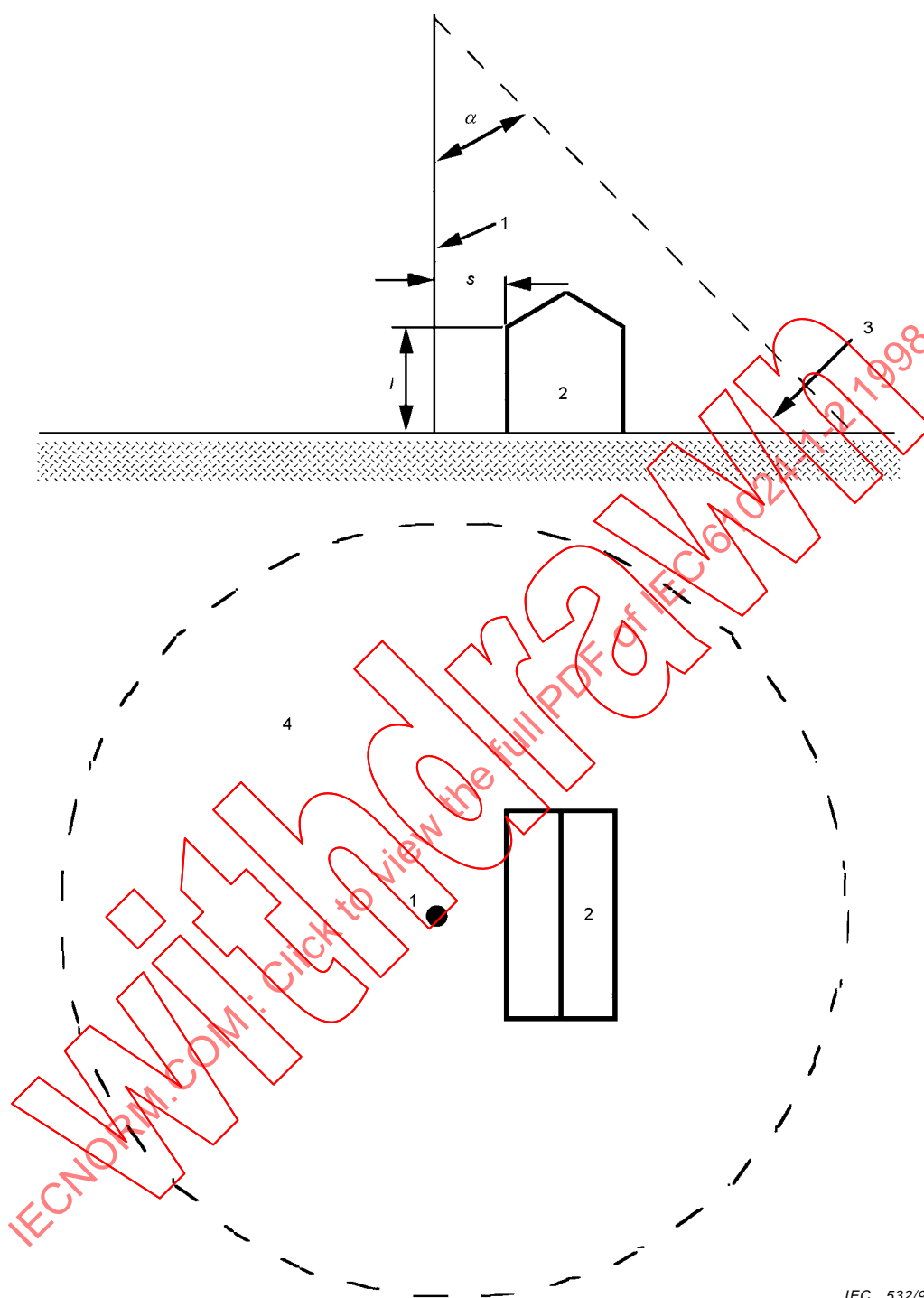


- 1 Mât de capture
- 2 Structure protégée
- 3 Plan de référence
- 4 Zone protégée sur le plan de référence
- l Longueur pour l'évaluation de la distance de sécurité d
- α Angle de protection
- s Distance de séparation selon 3.2 de la CEI 61024-1

IEC 532/98

NOTE – Le mât de capture doit être conçu et installé de manière à ce que toute la structure soit dans le cône de protection du mât.

Figure 7 – Système de protection isolé pour une structure à un seul mât de capture

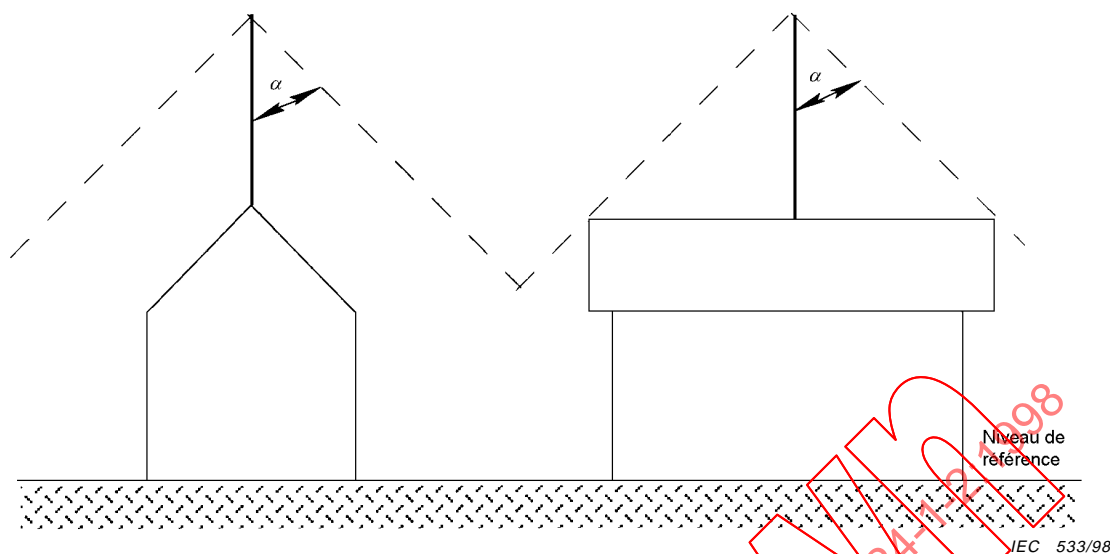


- 1 Air-termination mast
- 2 Protected structure
- 3 Reference plane
- 4 Protected area on the reference plane
- l Length for safety distance d evaluation
- α Protective angle
- s Separation distance according to 3.2 of IEC 61024-1

IEC 532/98

NOTE – The air-termination mast shall be designed and installed so that the whole structure is inside the protective cone of the mast.

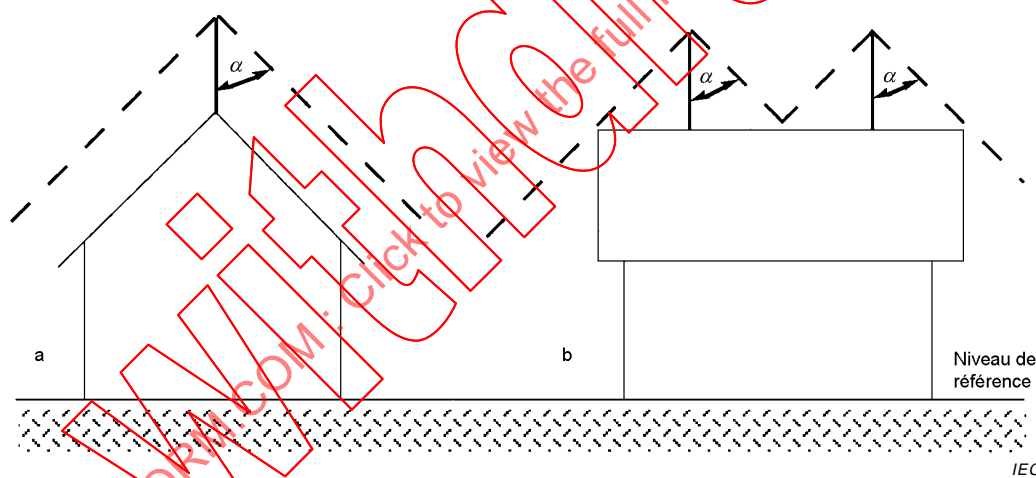
Figure 7 – Isolated external LPS for structure using one air-termination mast



α Angle de protection

NOTE – La hauteur de la tige de capture ne devra pas être supérieure aux valeurs indiquées dans le tableau 1 de la CEI 61024-1. Le niveau du sol est considéré comme niveau de référence.

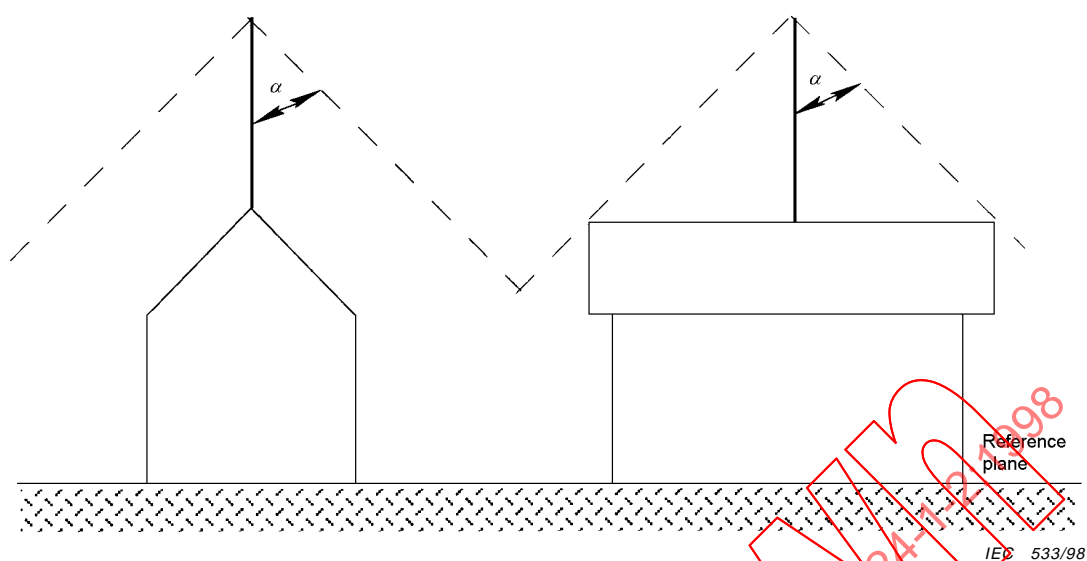
Figure 8 – Exemple de conception de dispositif de capture non isolé sur une toiture en terrasse par la méthode de l'angle de protection



α Angle de protection

NOTE – Toute la structure, figures 9a et 9b, doit appartenir aux cônes de protection des tiges de capture.

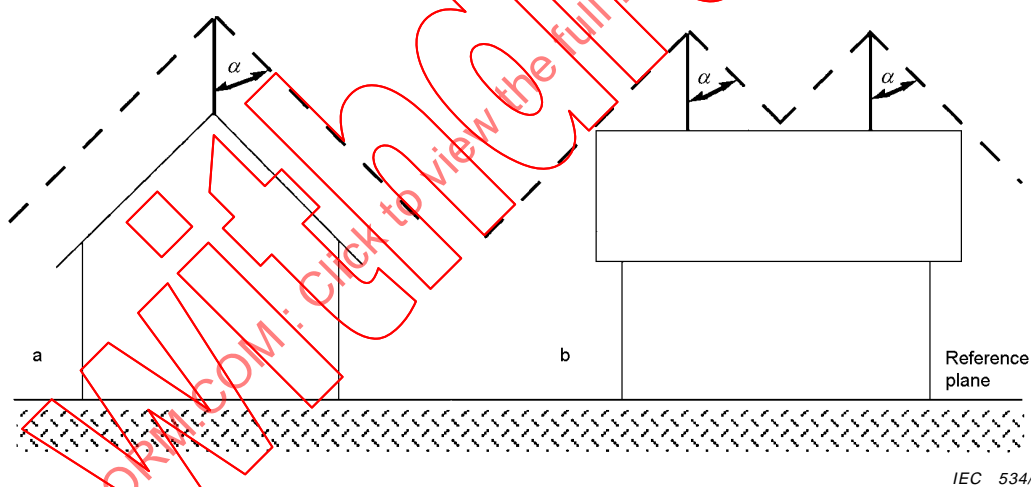
Figure 9 – Exemple de conception d'un dispositif de capture non isolé par tiges selon la méthode de l'angle de protection



α Protective angle

NOTE – The top of the air-termination rod shall not be higher than the values reported in table 1 of IEC 61024-1. The ground level is assumed as reference plane.

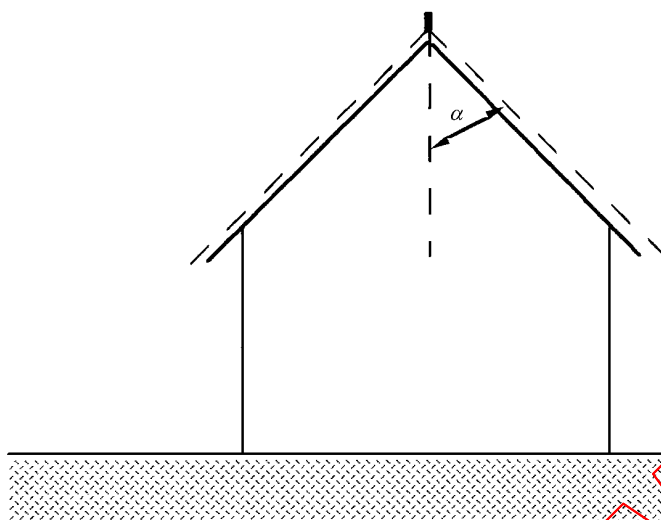
Figure 8 – Example of the design of a non-isolated LPS air-termination on a flat-roof structure using the protective angle air-termination design method



α Protective angle

NOTE – The whole structure, figures 9a and 9b, shall be inside the protective cones of the air-termination rods.

Figure 9 – Example of design of an air-termination of a non-isolated LPS by air-termination rods according to the protective angle air-termination design method



IEC 535/98

α Angle de protection

Figure 10a – Projection sur le plan vertical perpendiculaire au plan contenant le conducteur



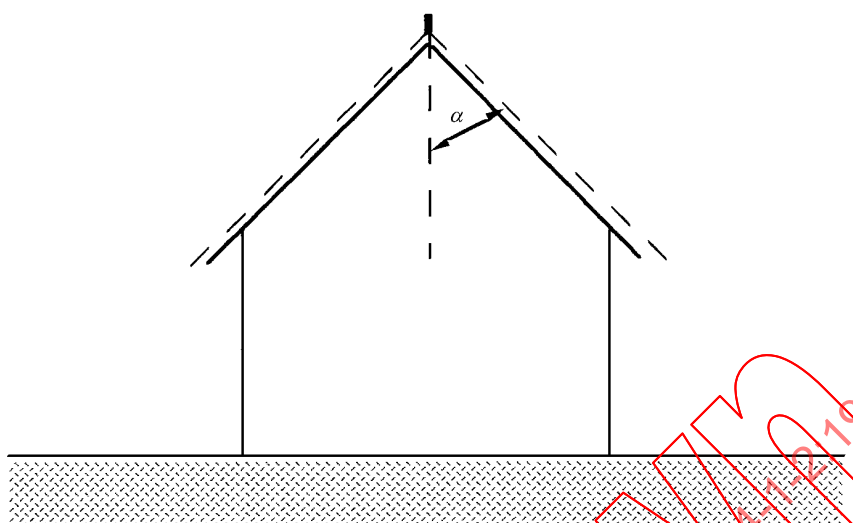
IEC 536/98

α Angle de protection

Figure 10b – Projection sur un plan vertical contenant le conducteur

NOTE – L'ensemble de la structure doit appartenir au volume protégé, figures 10a et 10b.

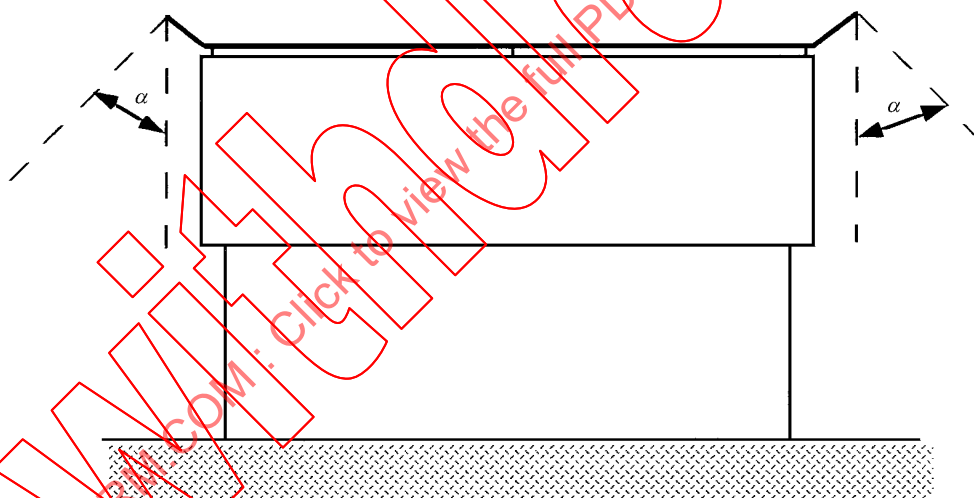
Figure 10 – Exemple de conception d'un dispositif de capture non isolé par conducteur horizontal selon la méthode de l'angle de protection



IEC 535/98

α Protective angle

Figure 10a – Projection on the vertical plane perpendicular to the plane containing the conductor



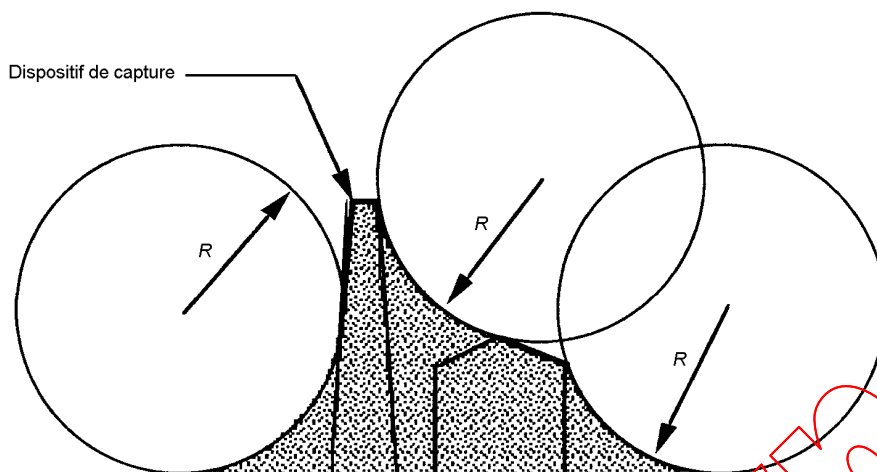
IEC 536/98

α Protective angle

Figure 10b – Projection on a vertical plane containing the conductor

NOTE – The whole structure shall be inside the protected volume, figures 10a and 10b.

Figure 10 – Example of design of an air-termination of a non-isolated LPS by a horizontal conductor according to the protective angle air-termination design method

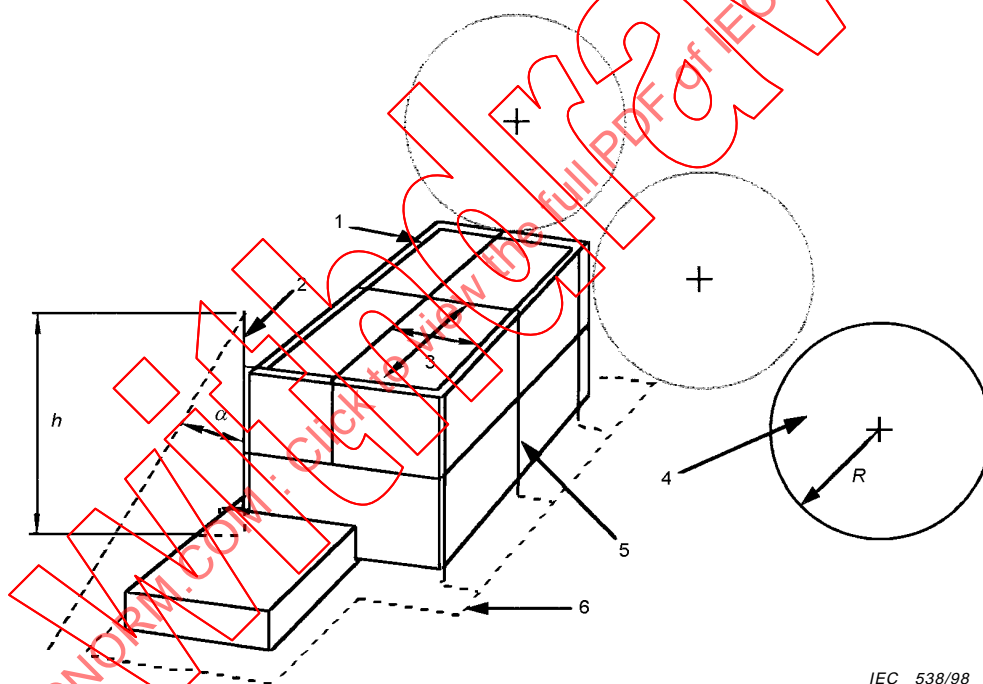


IEC 537/98

R Rayon de la sphère fictive selon le tableau 1 de la CEI 61024-1

NOTE – Les conducteurs de capture sont installés en tout point ou segment en contact avec la sphère fictive dont le rayon correspond au niveau de protection choisi.

Figure 11a – Conception d'un système de protection selon la méthode de la sphère fictive

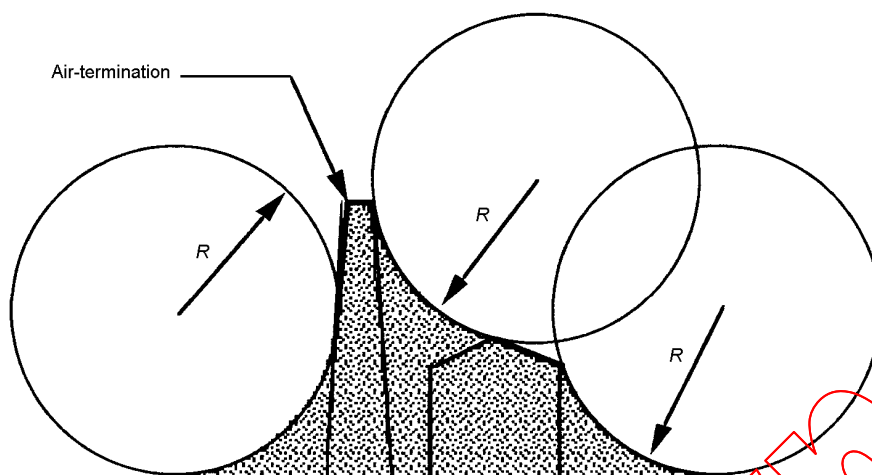


IEC 538/98

- 1 Fil de capture
- 2 Tige de capture
- 3 Taille de maille
- 4 Sphère fictive
- 5 Conducteur de descente
- 6 Electrode de terre
- h Hauteur du dispositif de capture au-dessus du sol
- α Angle de protection
- R Rayon de la sphère fictive selon le tableau 1 de la CEI 61024-1

Figure 11b – Disposition générale des éléments de capture

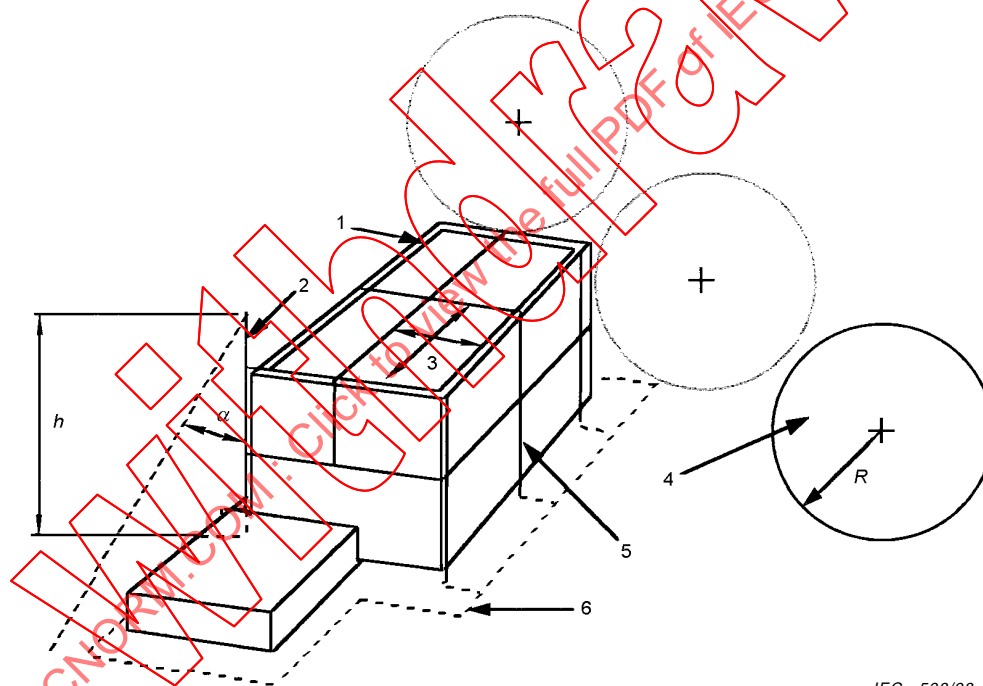
Figure 11 – Conception d'un système de protection selon la méthode de la sphère fictive et disposition générale des éléments de capture



R Radius of the rolling sphere according to table 1 of IEC 61024-1

NOTE – Air-termination LPS conductors are installed on all points and segments which are in contact with the rolling sphere, whose radius complies with the selected protection level.

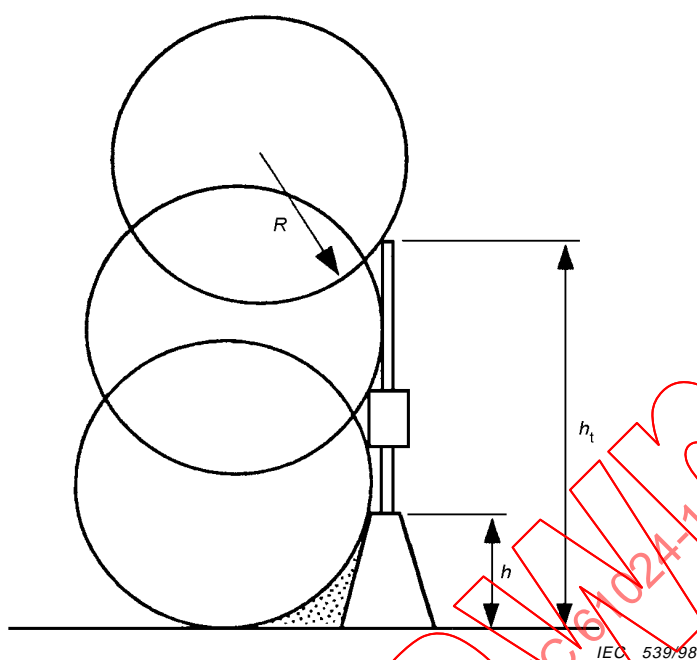
Figure 11a – Design of an LPS air-termination according to the rolling sphere method



- 1 Intercepting wire
- 2 Intercepting rod
- 3 Mesh size
- 4 Rolling sphere
- 5 Down-conductor
- 6 Earth electrode
- h Height of the air-terminal above ground level
- α Protective angle
- R Radius of the rolling sphere according to table 1 of IEC 61024-1

Figure 11b – General arrangement of air-termination elements

Figure 11 – Design of an LPS air-termination according to the rolling sphere method and general arrangement of air-termination elements

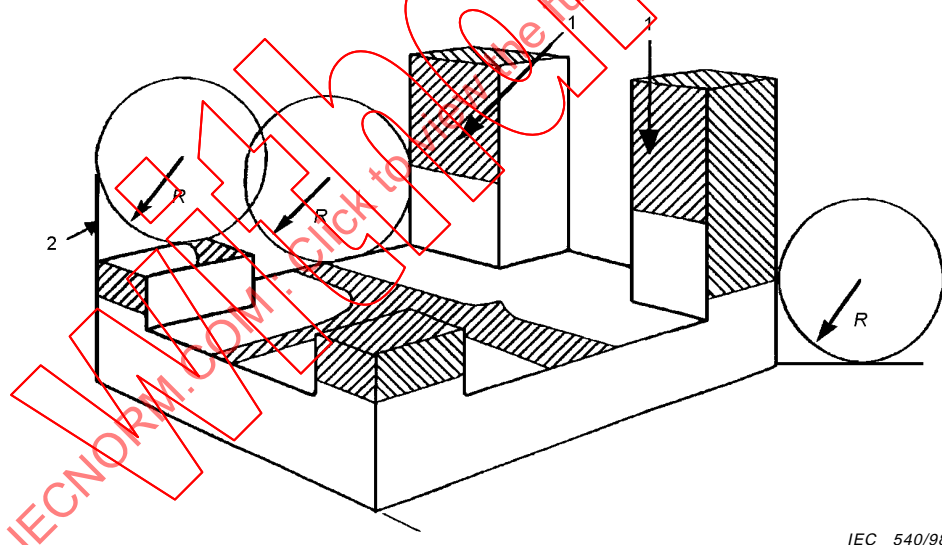


R Rayon de la sphère fictive selon le tableau 1 de la CEI 61024-1

h_t Hauteur physique de la tour, du mât et de la tige de capture

h Hauteur du dispositif de capture telle que définie dans la CEI 61024-1, tableau 1.

Figure 12 – Conception d'un système de protection d'une tour par la méthode de la sphère fictive



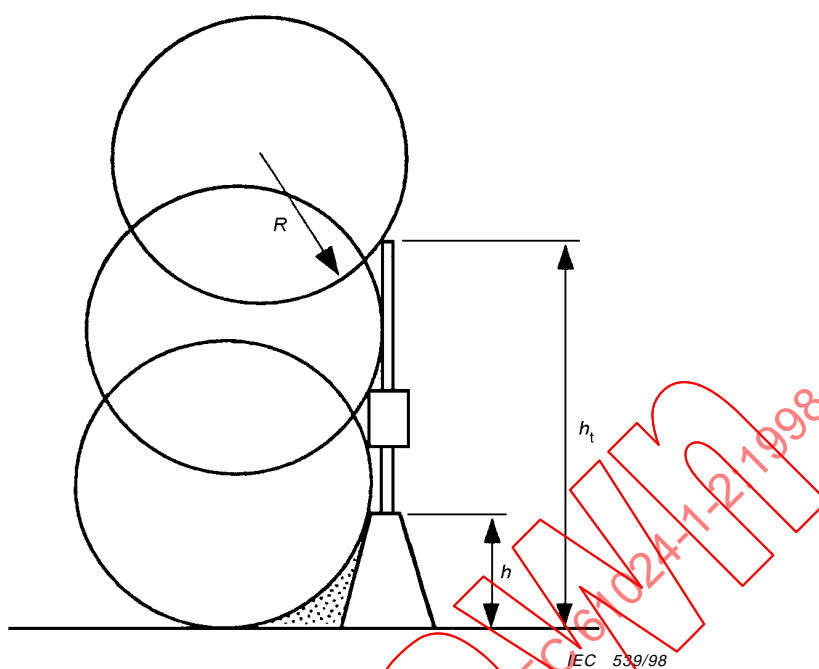
1 Voir note

2 Mât sur la structure

R Rayon de la sphère fictive, conformément au tableau 1 de la CEI 61024-1

NOTE – Les zones hachurées (1) sont soumises aux impacts de foudre selon le tableau 1 de la CEI 61024-1.

Figure 13 – Conception d'un réseau de dispositifs de capture sur une forme complexe

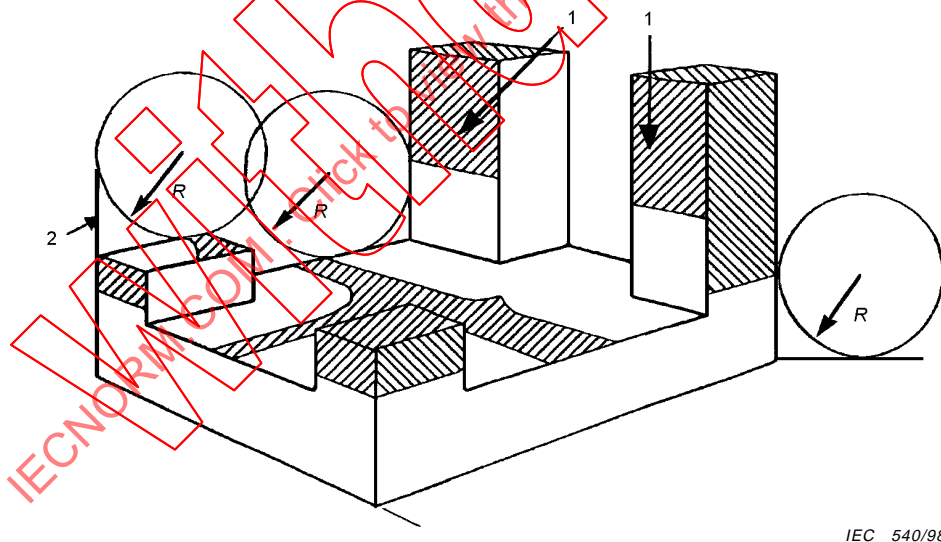


R Radius of the rolling sphere according to table 1 of IEC 61024-1

h_t Physical height of the tower, mast and air-termination rod

h Height of air termination as used in table 1 of IEC 61024-1

Figure 12 – Design of an LPS on a tower using the rolling sphere air-termination design method



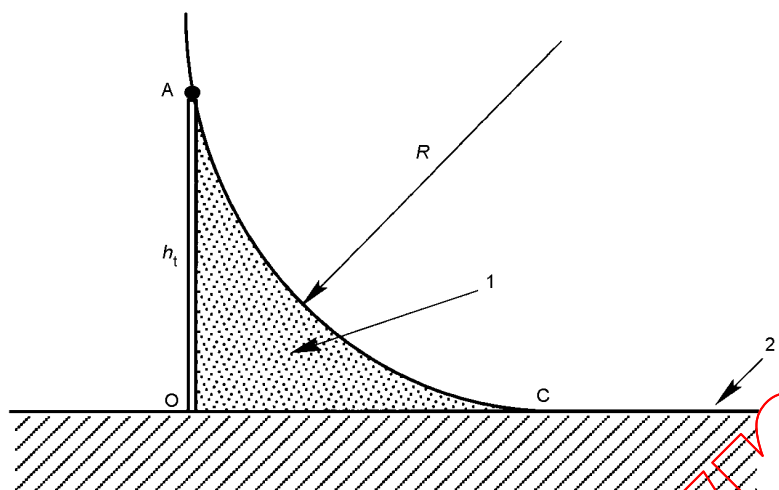
1 See note

2 Mast on the structure

R Radius of the rolling sphere, table 1 of IEC 61024-1

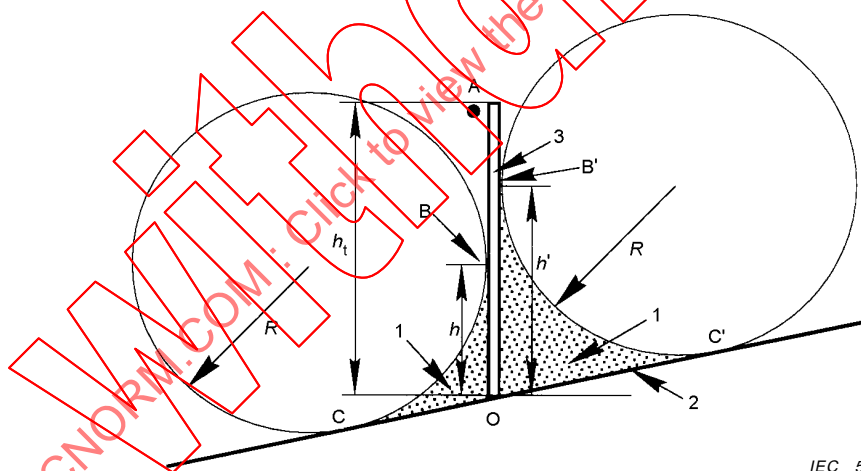
NOTE – Shaded areas (1), are exposed to lightning interception and need protection according to table 1 of IEC 61024-1.

Figure 13 – Design of an LPS air-termination conductor network on a structure with complicated shape



- 1 Espace protégé
- 2 Surface de référence
- R Rayon de la sphère fictive selon le tableau 1 de la CEI 61024-1
- OC Rayon de la zone protégée
- A Point d'un conducteur horizontal de capture
- $h_t = h$ Voir tableau 1 de la CEI 61024-1
- h_t Hauteur physique du conducteur de capture au-dessus de la surface de référence

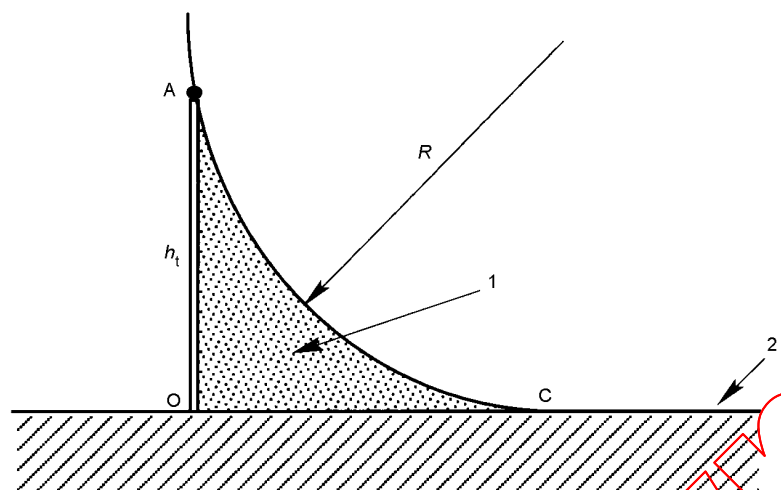
Figure 14 – Espace protégé par une tige de capture, un mât ou un fil horizontal par la méthode de la sphère fictive ($h_t < R$)



- 1 Espace protégé
- 2 Surface de référence
- 3 Tige de capture
- R Rayon de la sphère fictive selon le tableau 1 de la CEI 61024-1
- h, h' Hauteurs du dispositif de capture selon le tableau 1 de la CEI 61024-1
- h_t Hauteur physique du dispositif de capture par rapport au plan de référence
- A Point d'un conducteur horizontal de capture
- B, C, B', C' Points de contact avec la sphère fictive

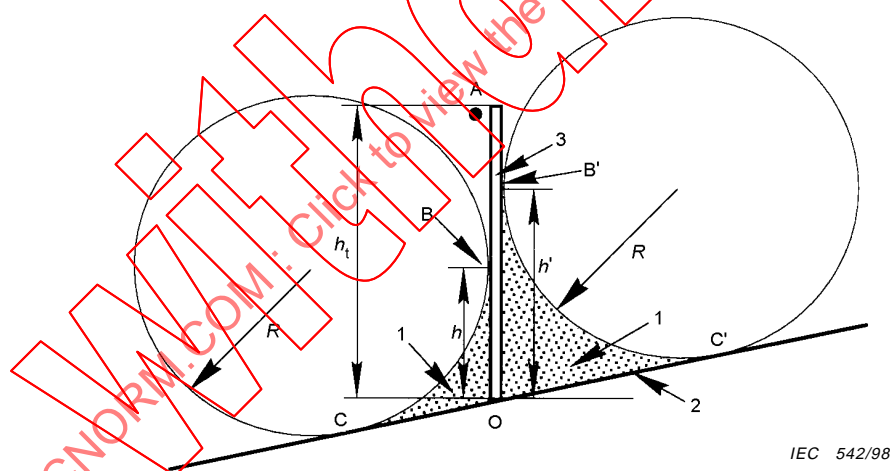
NOTE – Les hauteurs h et h' doivent être inférieures à h_t .
Deux valeurs de h , par exemple h et h' sont applicables pour une surface de référence en pente.

Figure 15 – Espace protégé par une tige de capture, un mât ou un fil horizontal au point A, selon la méthode de la sphère fictive ($h_t > R$)



- 1 Protected space
 2 Reference plane
 R Radius of the rolling sphere according to table 1 of IEC 61024-1
 OC Radius of the protected area
 A Point on a horizontal air-termination conductor
 $h_t = h$, See table 1 of IEC 61024-1
 h_t Physical height of the air-termination conductor above the reference plane

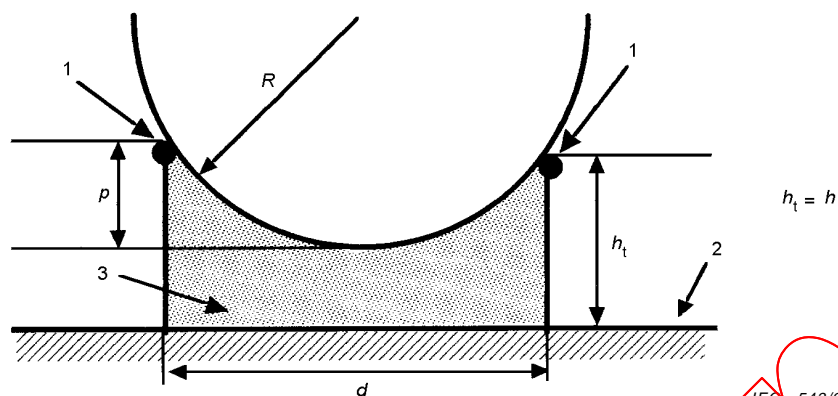
Figure 14 – Protected space of an air-termination rod, mast or horizontal wire using the rolling sphere air-termination design method ($h_t < R$)



- 1 Protected space
 2 Reference plane
 3 Air-termination rod
 R Radius of the rolling sphere according to table 1 of IEC 61024-1
 h, h' Heights of air-termination according to table 1 of IEC 61024-1
 h_t Physical height of air termination above the reference plane
 A Point on a horizontal air-termination conductor
 B, C, B', C' Touching points with the rolling sphere

NOTE – The heights h and h' shall be less than h_t .
 Two values of h , e.g. h and h' are applicable on a sloped reference plane.

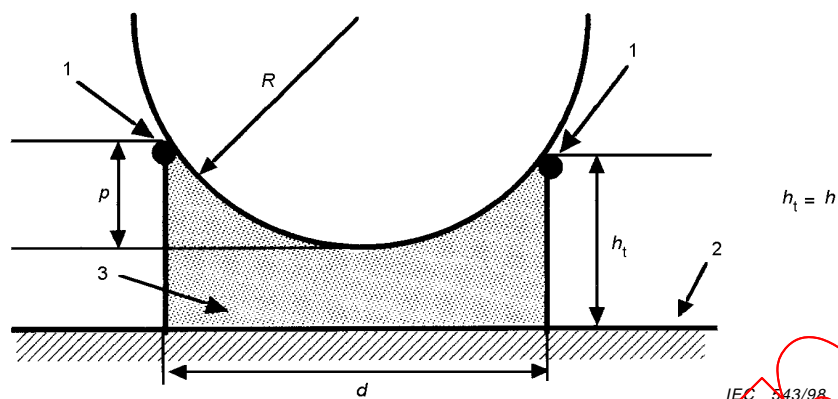
Figure 15 – Protected space of an air-termination rod, mast or horizontal wire at A using the rolling sphere air-termination design method ($h_t < R$)



- 1 Espace protégé par deux conducteurs parallèles de capture ou deux tiges de capture
- 2 Surface de référence
- 3 Surface protégée
- h_t Hauteur physique du dispositif de capture au-dessus de la surface de référence
- p Distance de pénétration de la sphère fictive
- h Hauteur du dispositif de capture selon le tableau 1 de la CEI 61024-1
- R Rayon de la sphère fictive
- d Distance séparant deux conducteurs parallèles de capture ou deux tiges de capture

NOTE – La distance de pénétration p de la sphère fictive doit être inférieure à la hauteur h_t pour protéger la surface représentée par d .

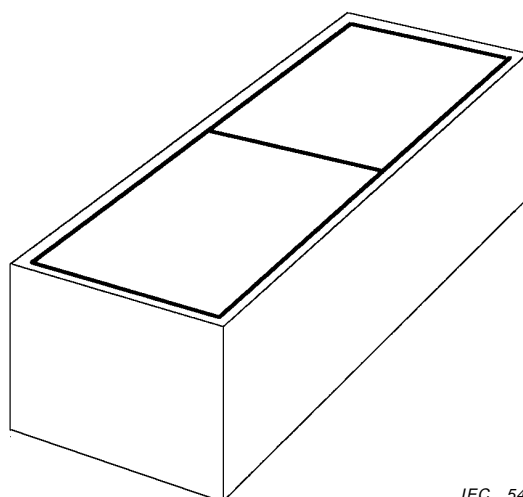
Figure 16 – Espace protégé par deux conducteurs parallèles de capture séparés, à une hauteur h_t ou de deux tiges de capture ($R > h_t$)



- 1 Space protected by two parallel air-termination horizontal wires or two air-termination rods
- 2 Reference plane
- 3 Whole protected area
- h_t Physical height of the air-termination rods above the reference plane
- p Penetration distance of the rolling sphere
- h Height of the air termination according to table 1 of IEC 61024-1
- R Radius of the rolling sphere
- d Distance separating two parallel air-termination horizontal wires or two air-termination rods

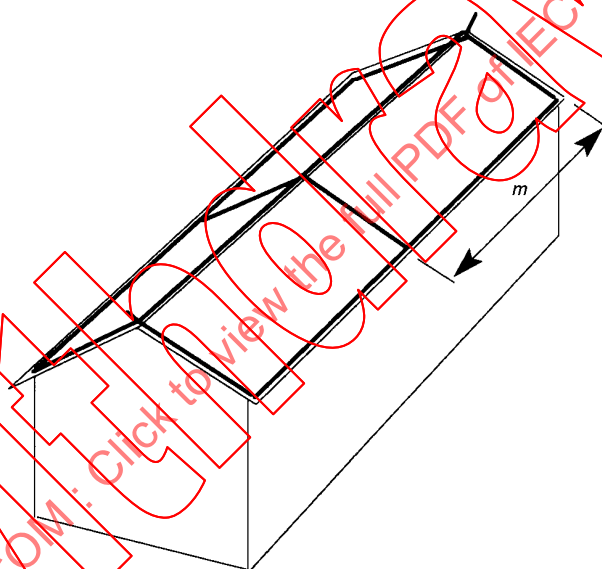
NOTE – The penetration distance p of the rolling sphere shall be less than h_t to protect the whole area, between the terminations.

Figure 16 – Space protected by two parallel air-termination horizontal wires or two air-termination rods ($R > h_t$)



IEC 544/98

Figure 17a – Exemple de conception de dispositif de capture non isolé sur une toiture en terrasse



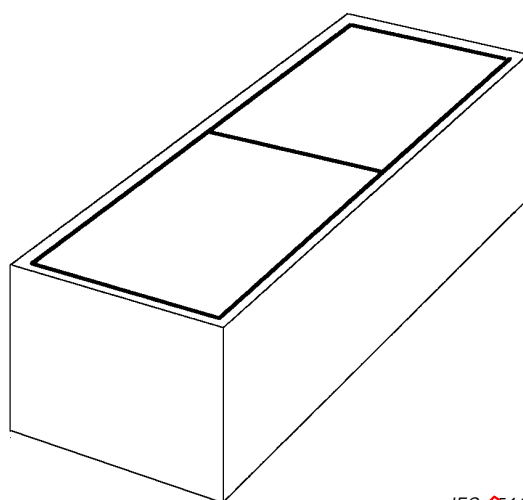
IEC 545/98

m Taille de la maille

Figure 17b – Exemple de conception de dispositif de capture non isolé sur une toiture en pente selon la méthode de maillage

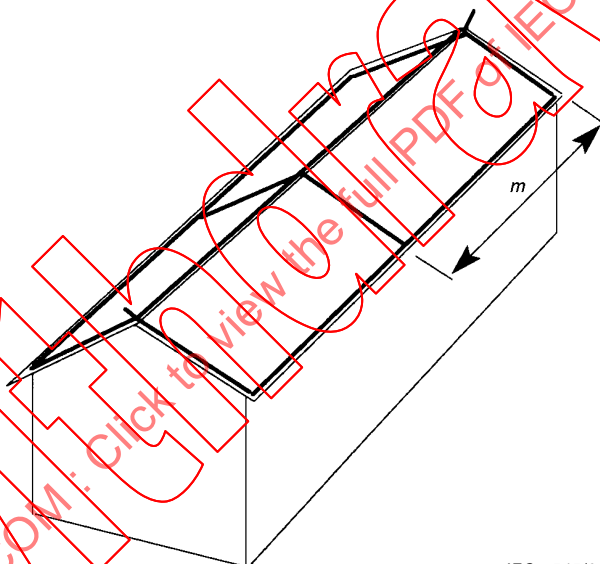
NOTE – La taille de la maille doit satisfaire au tableau 1 de la CEI 61024-1 (largeur de maille)

Figure 17 – Exemple de conception de dispositif de capture non isolé conforme à la méthode des mailles



IEC 544/98

Figure 17a – Example of the design of a non-isolated LPS air-termination on a flat-roof structure



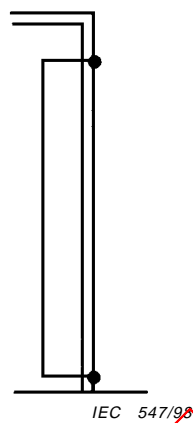
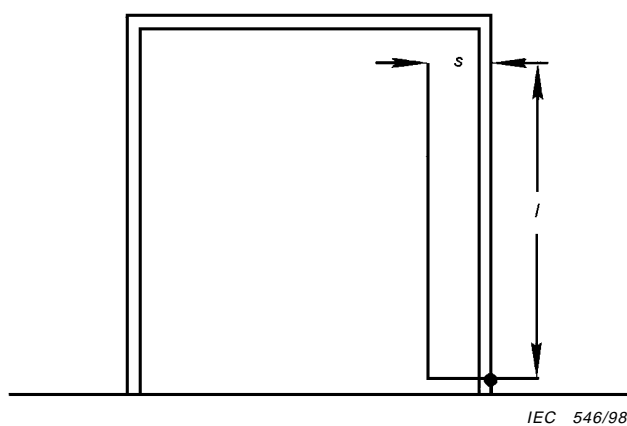
IEC 545/98

m Mesh size

Figure 17b – Example of design of non-isolated LPS air-termination on a sloped-roof structure

NOTE – The mesh size should comply with table 1 of IEC 61024-1 (mesh width).

Figure 17 – Example of design of non-isolated LPS air-termination according to the mesh method air-termination design



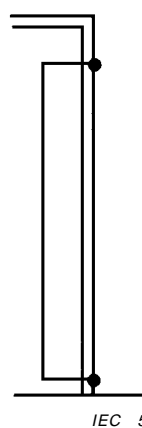
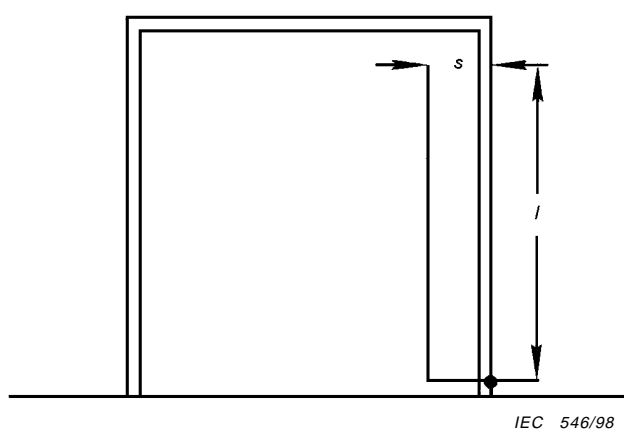
- s Distance de séparation
 l Longueur pour l'évaluation de la distance de sécurité d
 d Distance de sécurité (voir 3.2 de la CEI 61024-1)

Figure 18a – Distance de séparation $s \geq d$

Figure 18b – Distance de séparation $s < d$

NOTE – Si la distance de séparation ne peut être augmentée à une valeur supérieure à d , une équipotentialité doit être réalisée au point le plus éloigné, figure 18c.

Figure 18 – Distance de séparation entre le système de protection et les installations métalliques



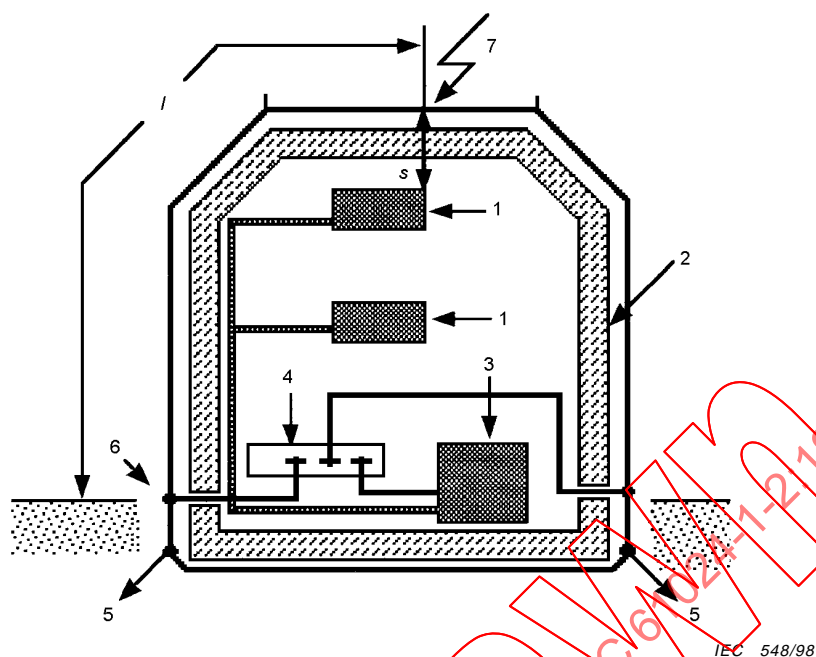
- s Separation distance
 l Length for safety distance d evaluation
 d Safety distance (see 3.2 of IEC 61024-1)

Figure 18a – Separation distance $s \geq d$

Figure 18b – Separation distance $s < d$

NOTE – When the separation distance cannot be increased above the safety distance d bonding has to be provided at the most distant point, figure 18b.

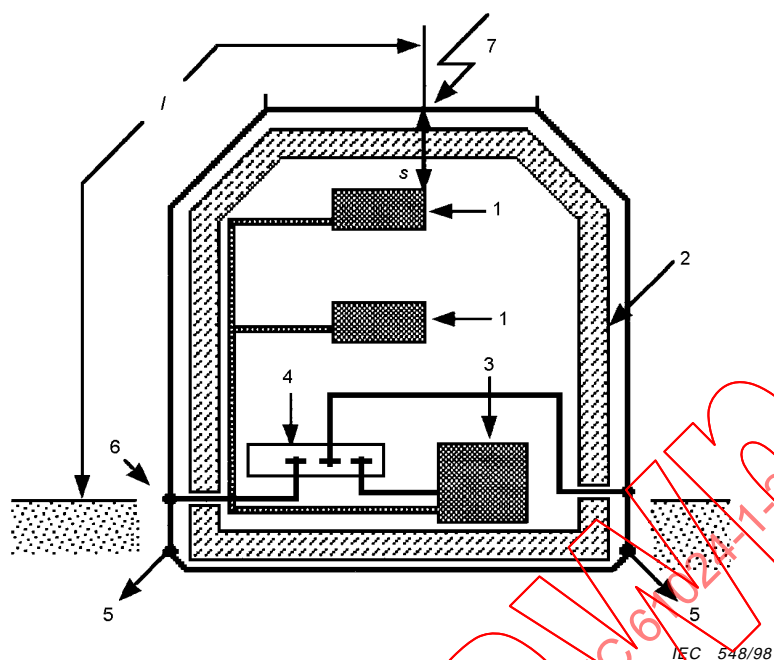
Figure 18 – Separation distance between the LPS and metal installations



- 1 Chauffage métallique
- 2 Paroi en briques ou bois
- 3 Chauffage
- 4 Barre d'équipotentialité
- 5 Prise de terre
- 6 Connexion du conducteur de descente à la prise de terre
- 7 Point d'interception défavorable de foudre
- l Longueur pour l'évaluation de la distance de sécurité d
- s Distances de séparation: $s \geq d$ (voir 3.2 de la CEI 61024-1)
- d Distance de sécurité

NOTE – La structure est en briques isolantes.

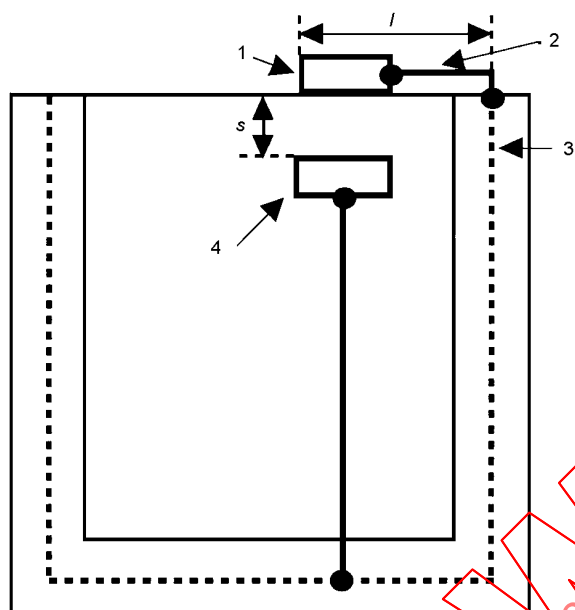
Figure 19 – Indications pour le calcul de la distance de sécurité d pour le point d'interception de foudre le plus défavorable à une distance l du point de référence selon 3.2 de la CEI 61024-1



- 1 Metallic radiator/heater
- 2 Wall of brickwork or wood
- 3 Heater
- 4 Equipotential bonding bar
- 5 Earth-termination system
- 6 Connection to the down-conductor and earth-termination system
- 7 Unfavourable point of lightning interception
- l Length for safety distance d evaluation
- s Separation distance: $s \geq d$ (see 3.2 of IEC 61024-1)
- d Safety distance

NOTE – The structure consists of insulating bricks.

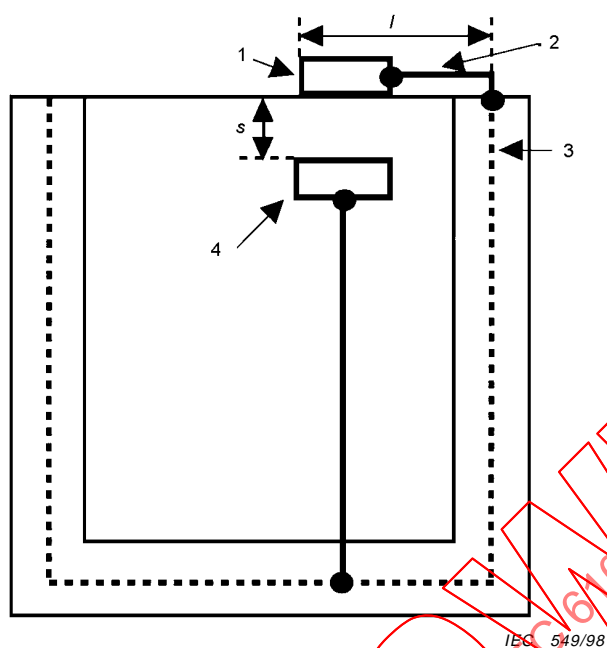
Figure 19 – Directions for calculations of the safety distance d for a most unfavourable lightning interception point at a distance l from the reference point according to 3.2 of IEC 61024-1



- 1 Fixation de toiture métallique
- 2 Conducteur d'équipotentialité
- 3 Armature en acier des parois en béton
- 4 Partie conductrice intérieure à la structure
- l Longueur pour l'évaluation de la distance de sécurité d
- s Distance de séparation $s \geq d$
- d Distance de sécurité

NOTE – L'armature de la structure est utilisée comme équipotentialité de référence.

Figure 20 – Mesure de la longueur l pour le calcul de la distance de sécurité selon 3.2 de la CEI 61024-1 dans une structure en béton armé selon 1.3 de la CEI 61024-1



- 1 Metallic roof fixture
- 2 Bonding conductor
- 3 Steel reinforcing in concrete walls
- 4 Conductive part inside the structure
- l Length for the safety distance d evaluation
- s Separation distance $s \geq d$
- d Safety distance

NOTE – The steel reinforcing of the structure is used as equipotential référence.

Figure 20 – How to measure the length l used in the calculation of the safety distance according to 3.2 of IEC 61024-1, with a concrete structure reinforced according to 1.3 of IEC 61024-1

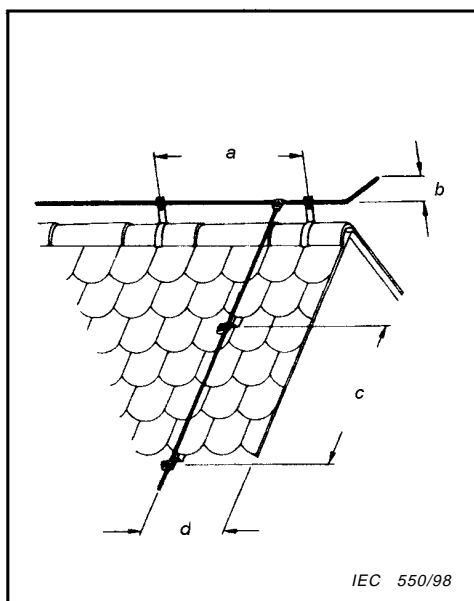


Figure 21a – Installation d'un conducteur de capture sur la bordure d'un toit en pente et d'un conducteur de descente

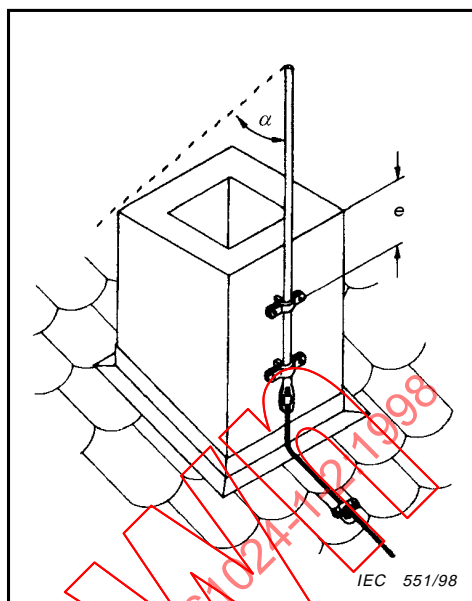


Figure 21b – Installation d'une tige de capture pour la protection d'une cheminée par la méthode de l'angle de protection

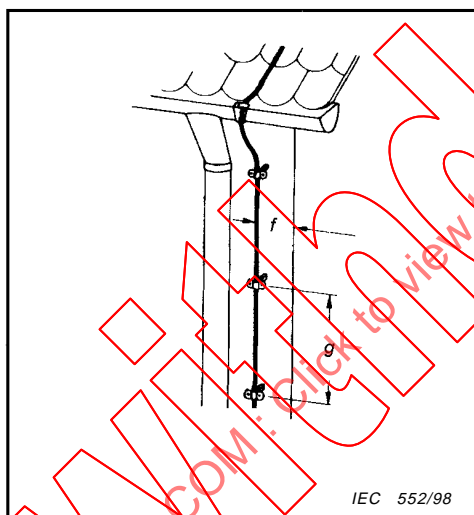


Figure 21c – Installation d'un conducteur de descente avec connexion à la gouttière

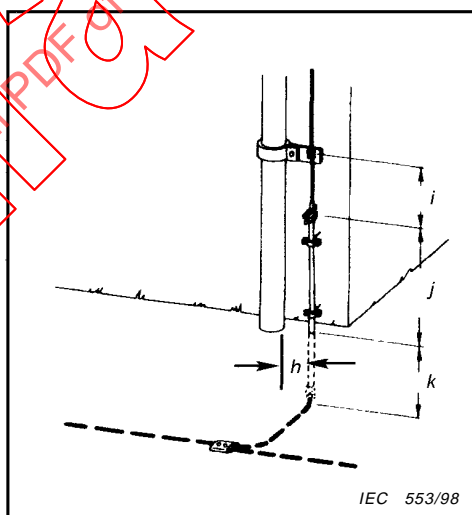


Figure 21d – Installation d'une borne d'essai sur un conducteur de descente et connexion à une descente de gouttière

Un exemple de dimensions convenables est:

$a = 1 \text{ m}$

$d = 0,4 \text{ m}$

$g = 1 \text{ m}$

$j = 1,5 \text{ m}$

$b = 0,15 \text{ m}$

$e = 0,2 \text{ m}$

$h = 0,05 \text{ m}$

$k = 0,5 \text{ m}$

$c = 1 \text{ m}$

$f = 0,2 \text{ m}$

$i = 0,3 \text{ m}$

Figure 21 – Détails d'un système de protection d'une structure avec toiture en pente et réalisée en tuiles

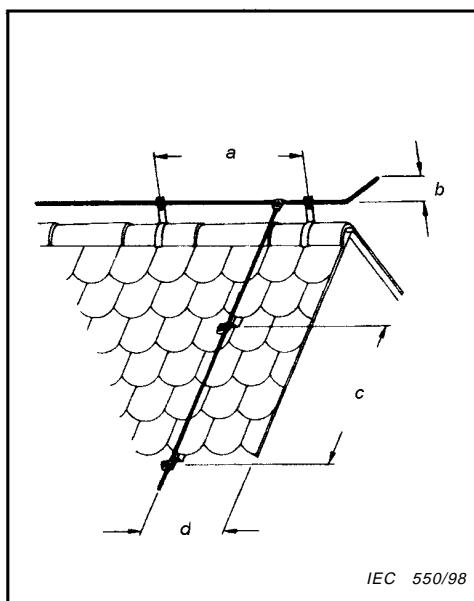


Figure 21a – Construction of air-termination conductor on the ridge of a sloped roof and a roof down-conductor

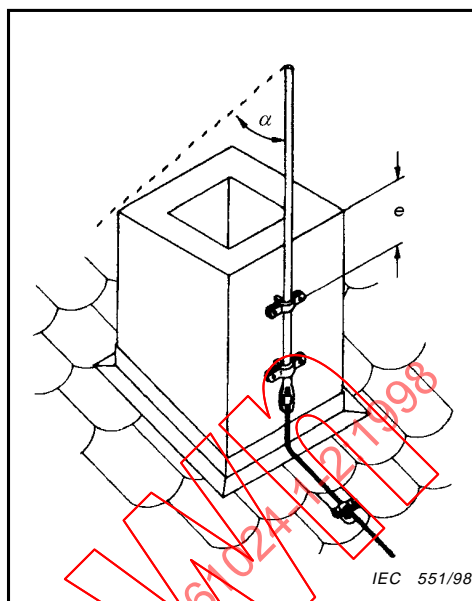


Figure 21b – Construction of air-termination rod for protection of chimney using the protective angle air-termination design method

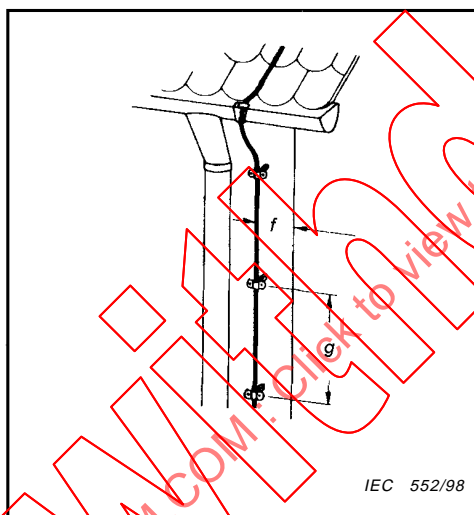


Figure 21c – Construction of a down-conductor with connection to the gutter

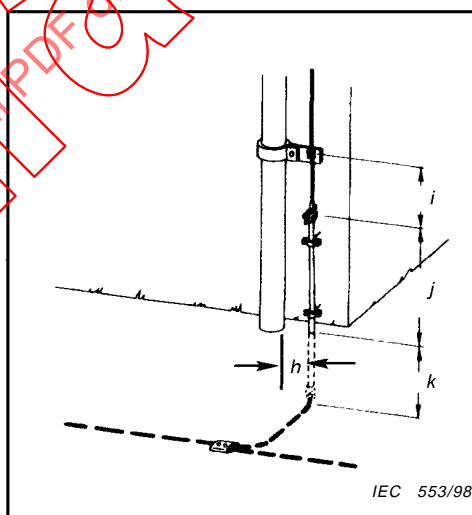


Figure 21d – Construction of a test joint in a down-conductor and bonding to a drain-pipe

Examples of suitable dimensions are:

$$a = 1 \text{ m}$$

$$d = 0,4 \text{ m}$$

$$g = 1 \text{ m}$$

$$j = 1,5 \text{ m}$$

$$b = 0,15 \text{ m}$$

$$e = 0,2 \text{ m}$$

$$h = 0,05 \text{ m}$$

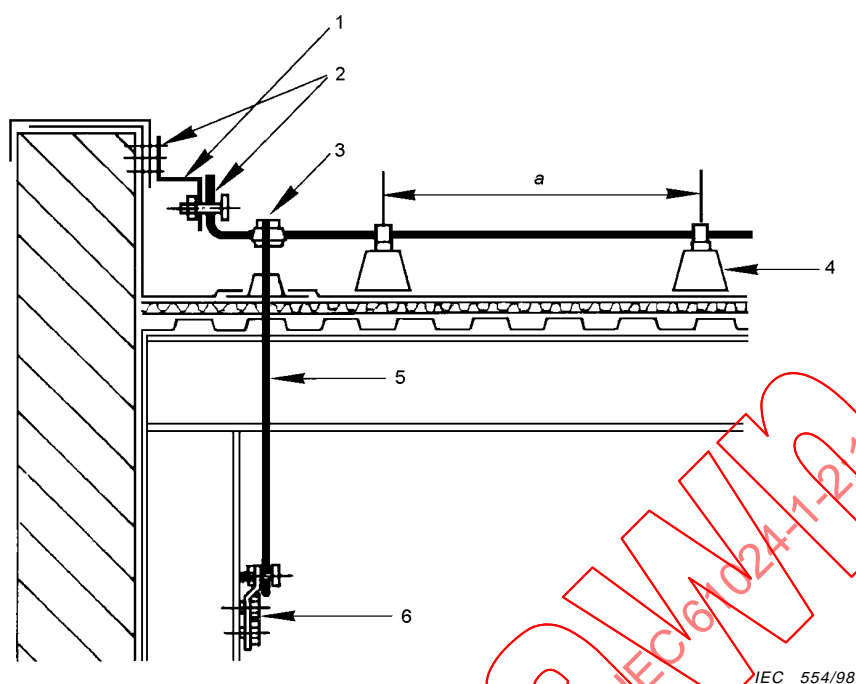
$$k = 0,5 \text{ m}$$

$$c = 1 \text{ m}$$

$$f = 0,2 \text{ m}$$

$$i = 0,3 \text{ m}$$

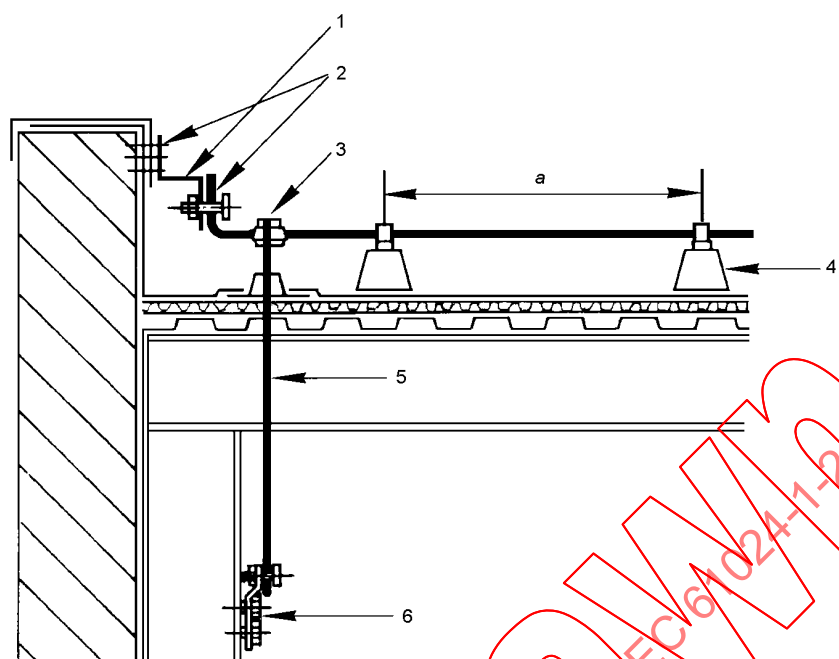
Figure 21 – Some examples of details of an LPS on a structure with sloped tiled roof



- 1 Conducteur souple
- 2 Bornes
- 3 Borne T
- 4 Fixation du conducteur de capture
- 5 Système de protection traversant un système d'étanchéité
- 6 Borne

NOTE – Le revêtement métallique du garde-fou est utilisé comme conducteur de capture et est connecté à l'armature en acier utilisée comme conducteur naturel de descente. Une dimension appropriée de a peut être 0,8 m à 1,5 m.

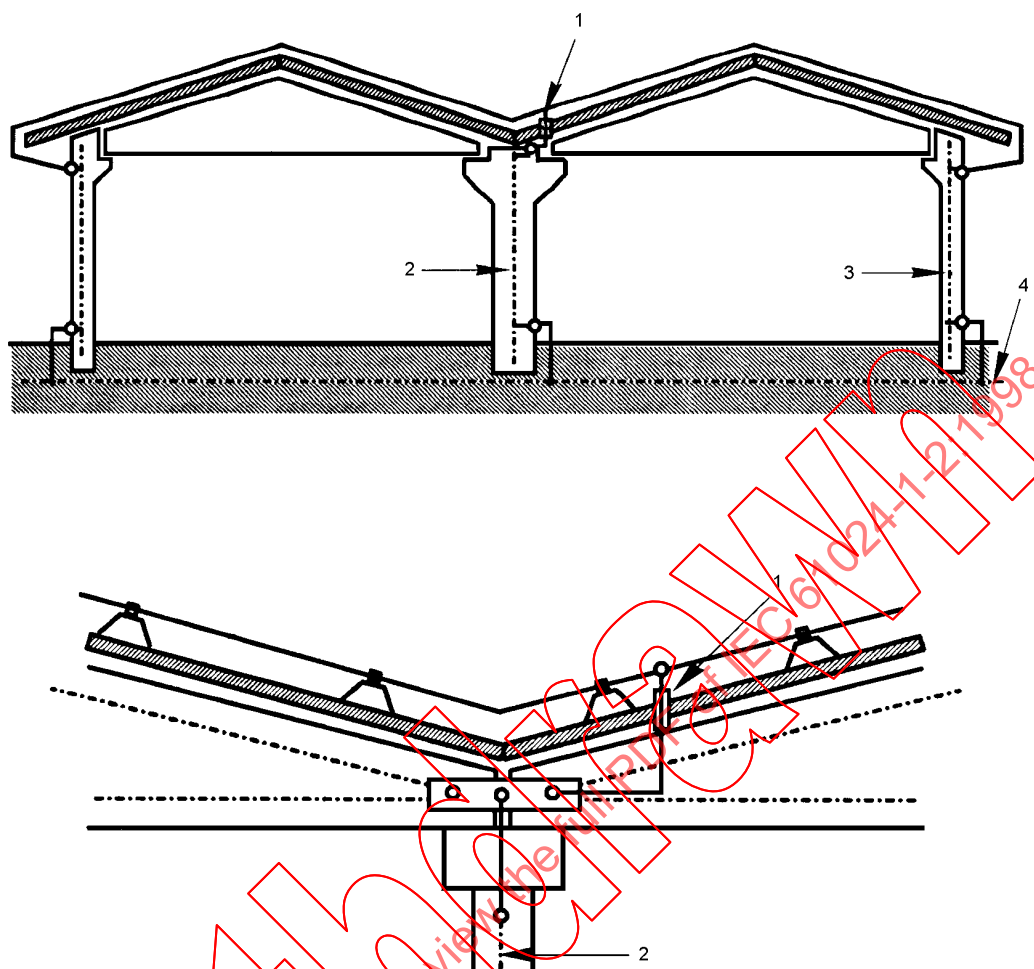
Figure 22 – Installation d'un système de protection utilisant les composants naturels de la toiture



- 1 Flexible conductor
- 2 Joints
- 3 T-joint
- 4 Air-termination conductor fixture
- 5 LPS passing a watertight bushing
- 6 Joint

NOTE – Metallic covering on the roof parapet is used as an air-termination conductor and is connected to the steel girder used as a natural down-conductor of the LPS. Suitable dimensions for a could be 0,8 m to 1,5 m.

Figure 22 – Construction of an LPS using natural components on the roof of the structure

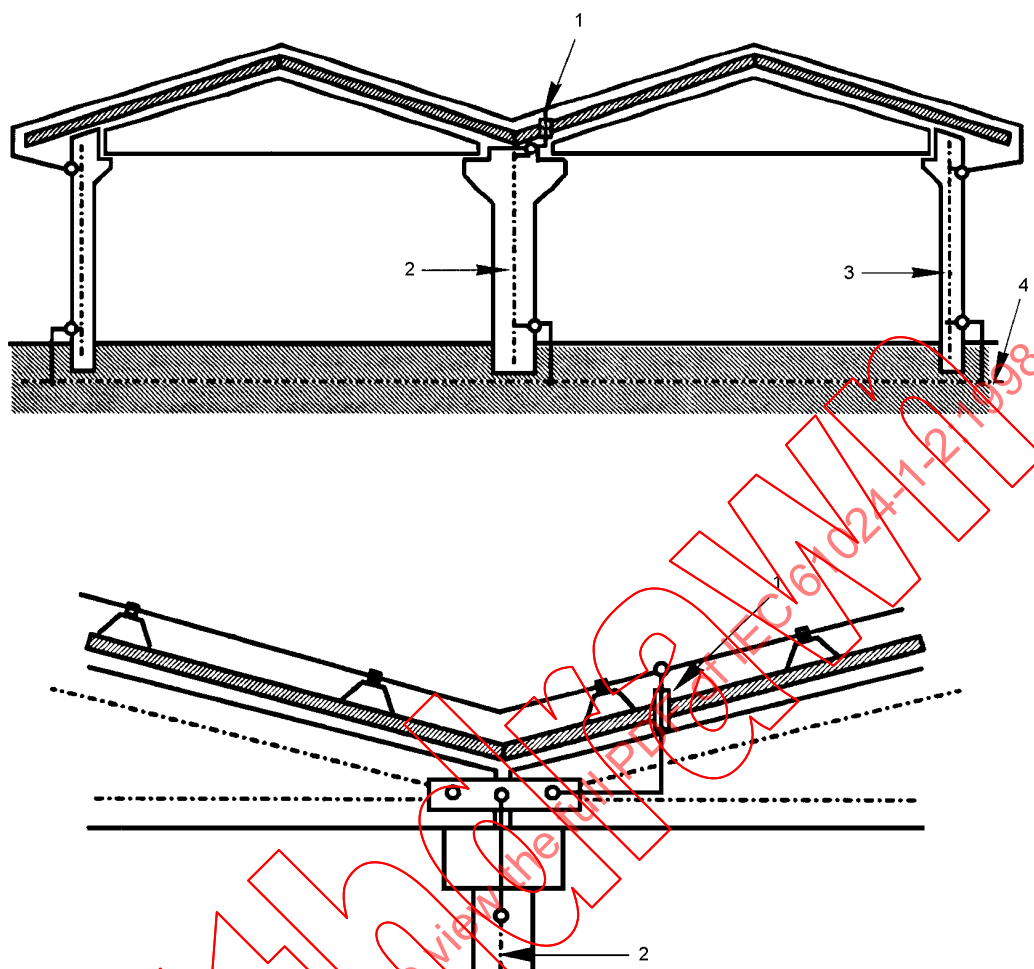


IEC 555/98

- 1 Conducteur traversant un système d'étanchéité
- 2 Armature acier d'une colonne en béton
- 3 Armature acier de parois en béton
- 4 Armature acier dans la fondation, prise de terre à fond de fouille

NOTE – L'armature en acier d'une colonne intérieure devient un conducteur naturel de descente si cette armature est reliée au dispositif de capture et à la prise de terre du système de protection. L'environnement électromagnétique de la colonne doit être étudié si des matériels électroniques sensibles sont installés à proximité des colonnes.

Figure 23 – Conducteurs intérieurs de descente dans une structure industrielle

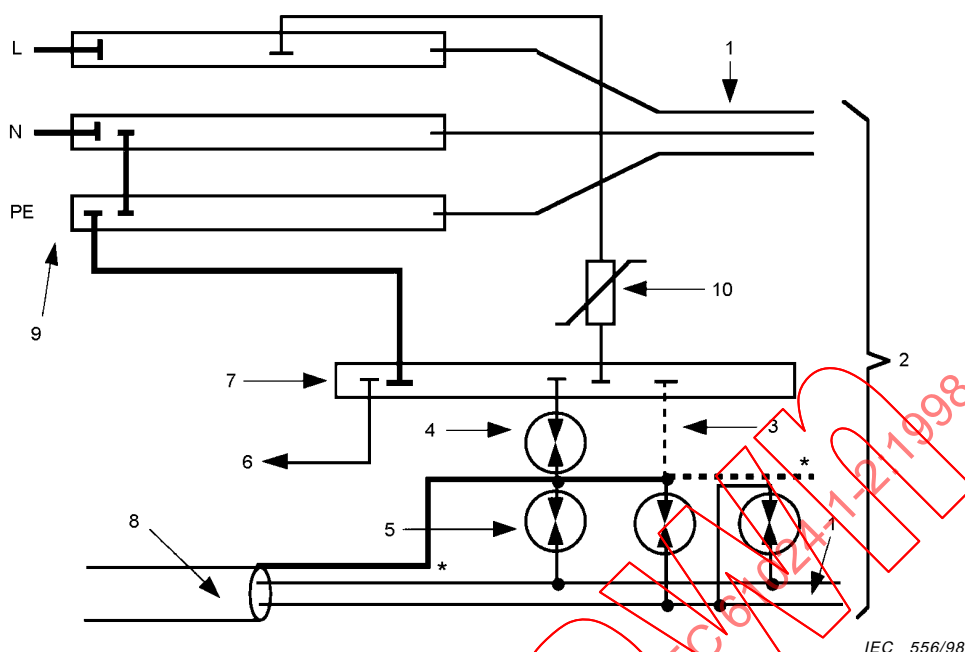


IEC 555/98

- 1 LPS conductor passing a watertight bushing
- 2 Steel reinforcement in a concrete column
- 3 Steel reinforcement in concrete walls
- 4 Steel reinforcement in the structure foundation – foundation earth electrode

NOTE – The steel reinforcing of an internal column becomes a natural internal down-conductor when the steel reinforcing of the column is connected to the air-termination and the earth-termination of the LPS. The electromagnetic environment near the column has to be considered when sensitive electronic equipment is installed near the columns.

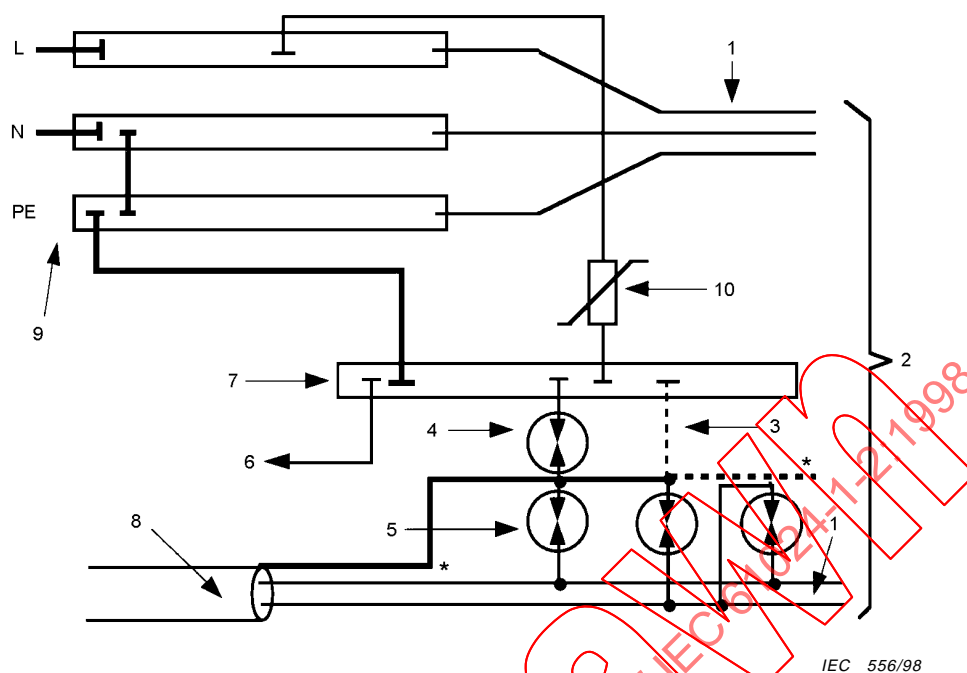
Figure 23 – Internal down-conductors in industrial structures



- 1 Vers appareil protégé
- 2 Voir figure 25, détail A
- 3 Variante 1 (à préférer)
- 4 Variante 2 (si l'isolation de la ligne de communication est prescrite)
- 5 Éclateurs à gaz
- 6 Vers prise de terre
- 7 Barre d'équipotentialité
- 8 Ligne de télécommunication*
- 9 Alimentation de puissance
- 10 Parafoudre, voir 1.2.24 de la CEI 61024-1
- * Ecran métallique du câble de télécommunication, si applicable

NOTE – Une liaison directe entre les éclateurs à gaz et la barre d'équipotentialité, variante 1, est préférée.

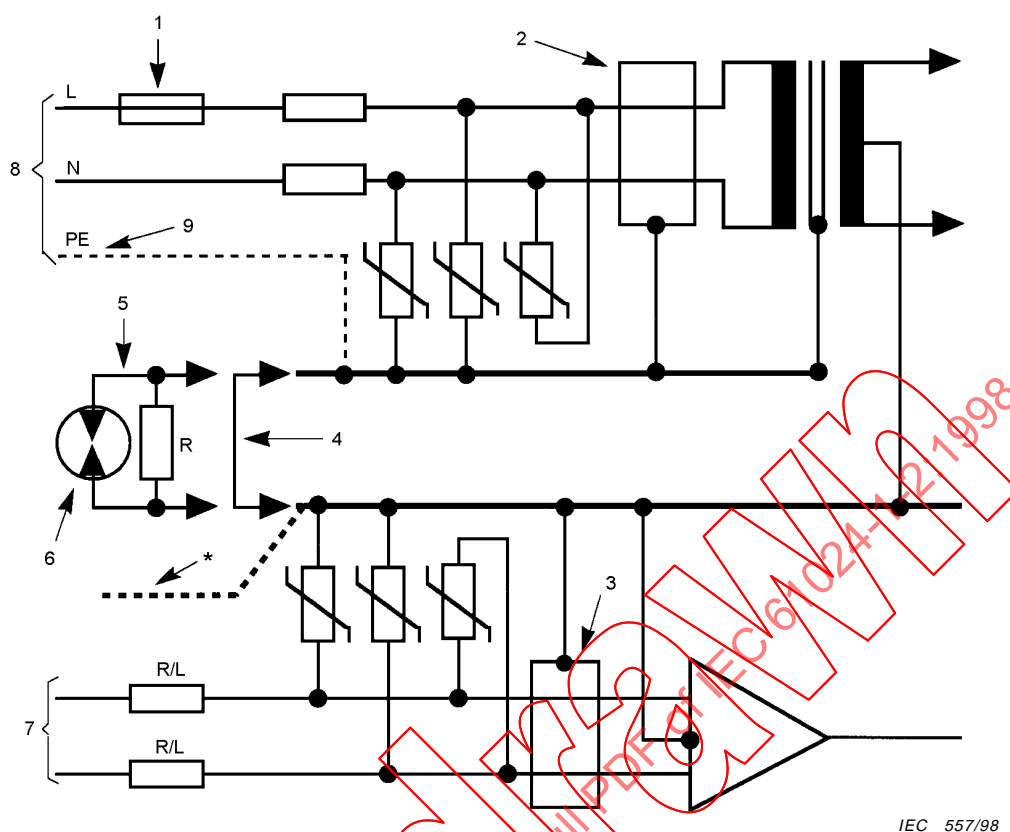
Figure 24 – Exemple de parafoudres installés à l'origine de l'installation dans le tableau de distribution et à l'origine de la ligne de communication



- 1 To protected device
 - 2 See figure 25, detail A
 - 3 Alternative 1 (preferred)
 - 4 Alternative 2 (when insulation of communication line is required)
 - 5 Gas discharge protectors
 - 6 To the earth termination of the LPS
 - 7 Bonding bar
 - 8 Telecommunication line*
 - 9 Electric power line
 - 10 SPD, see 1.2.24 or IEC 61024-1
- * Conductive shield of telecommunication cable, if applicable

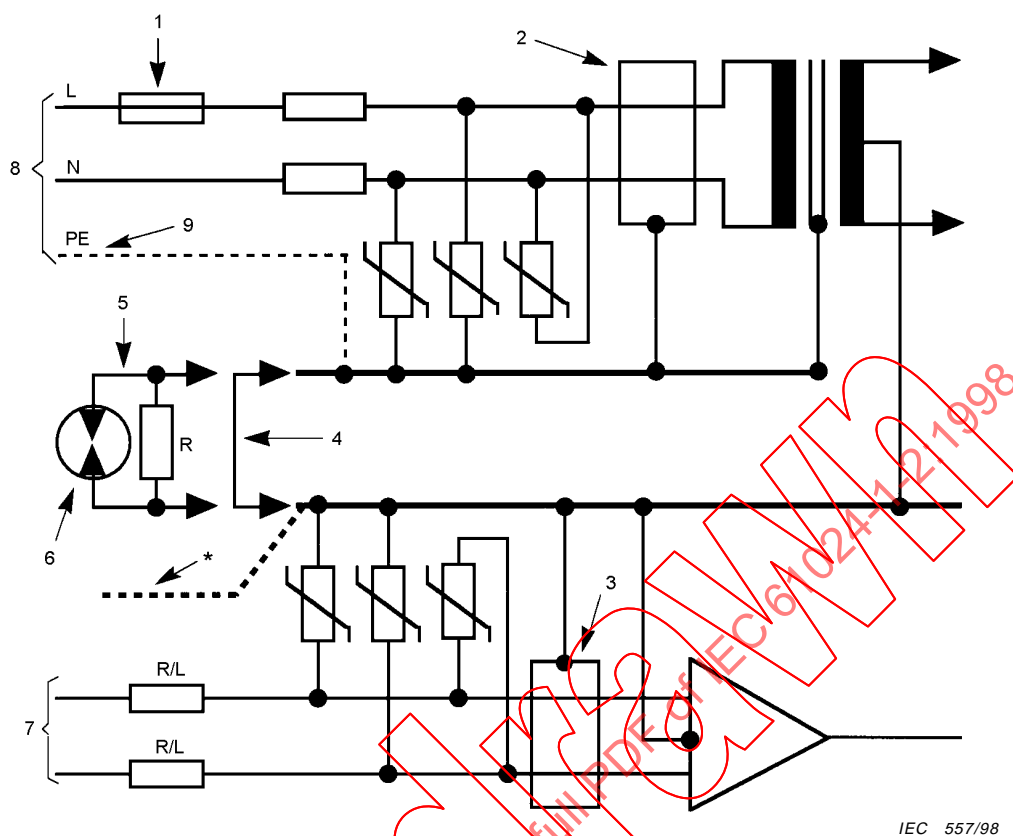
NOTE – A direct connection between one side of the gas discharge protectors and the bonding bar, alternative 1, is to be preferred.

Figure 24 – An example of SPD installed in the low-voltage power main distribution box at the entrance of the structure and at the main inlet for the communication line



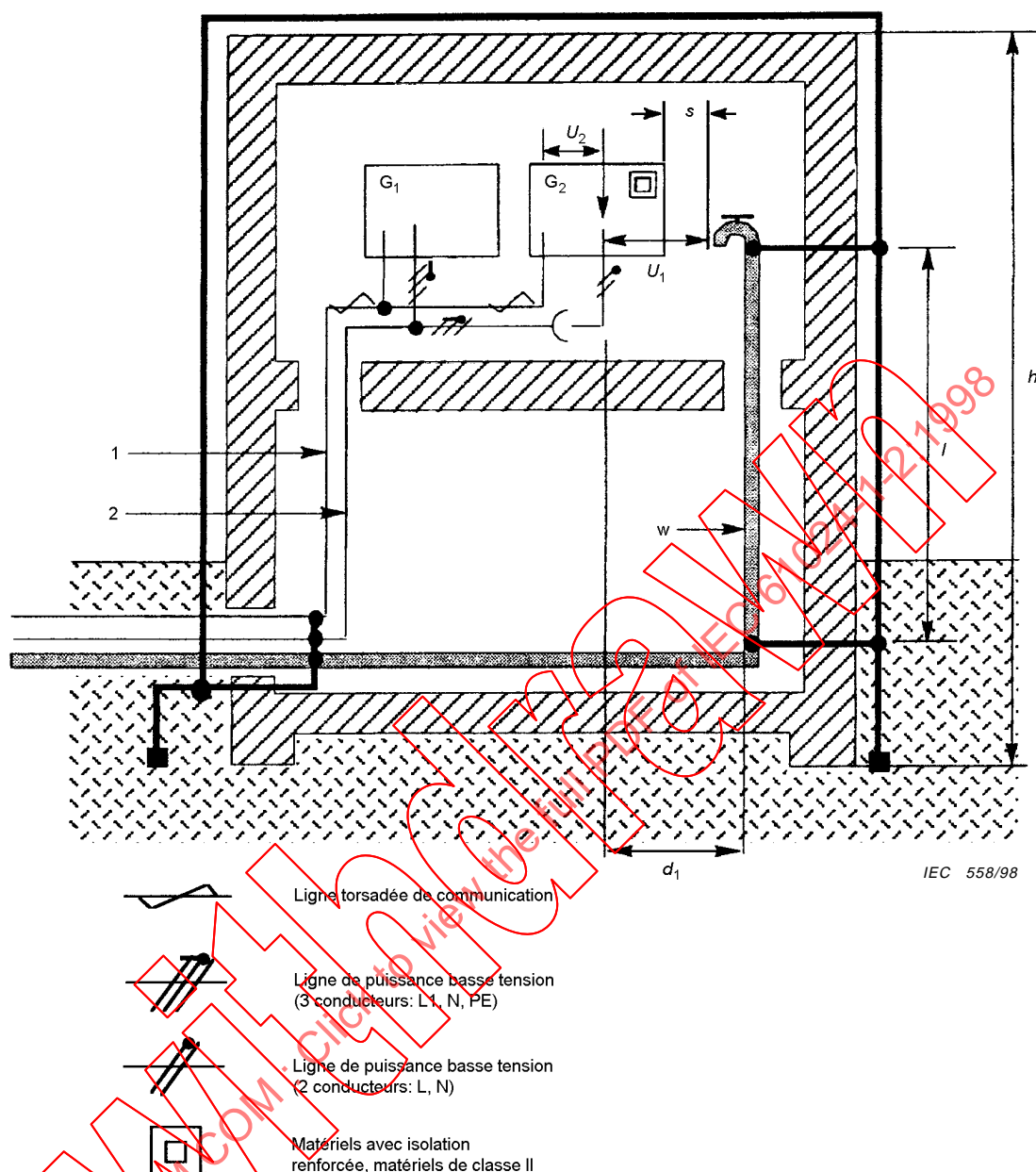
- | | |
|-----|--|
| 1 | Fusible |
| 2 | Filtre passe-bas (principal) |
| 3 | Filtre passe-bas (TV) |
| 4 | Variante 1 (applicable seulement en schéma TN-S) |
| 5 | Variante 2 (applicable en schémas TN-S et TN-C) |
| 6 | Eclateur à gaz |
| 7 | Ligne de communication (écran métallique du câble de télécommunication, si applicable) |
| 8 | Ligne de puissance |
| 9 | Si applicable |
| LP | Filtre passe-bas |
| R/L | Résistance ou inductance |

Figure 25 – Détail A de la figure 24 – Parafoudre installé à proximité ou dans un appareil



- | | |
|-----|---|
| 1 | Fuse |
| 2 | Low-pass filter (mains) |
| 3 | Low-pass-filter (tele) |
| 4 | Alternative 1 (can only be applied for TN-S systems) |
| 5 | Alternative 2 (can be applied for TN-S and TN-C systems) |
| 6 | Gas discharge protector |
| 7 | Telecommunication line (conductive shield of telecommunication cable if applicable) |
| 8 | Electric power line |
| 9 | If applicable |
| LP | Low pass |
| R/L | Resistor or inductor |

Figure 25 – Detail A of figure 24 – Surge protective device installed close to or inside an apparatus

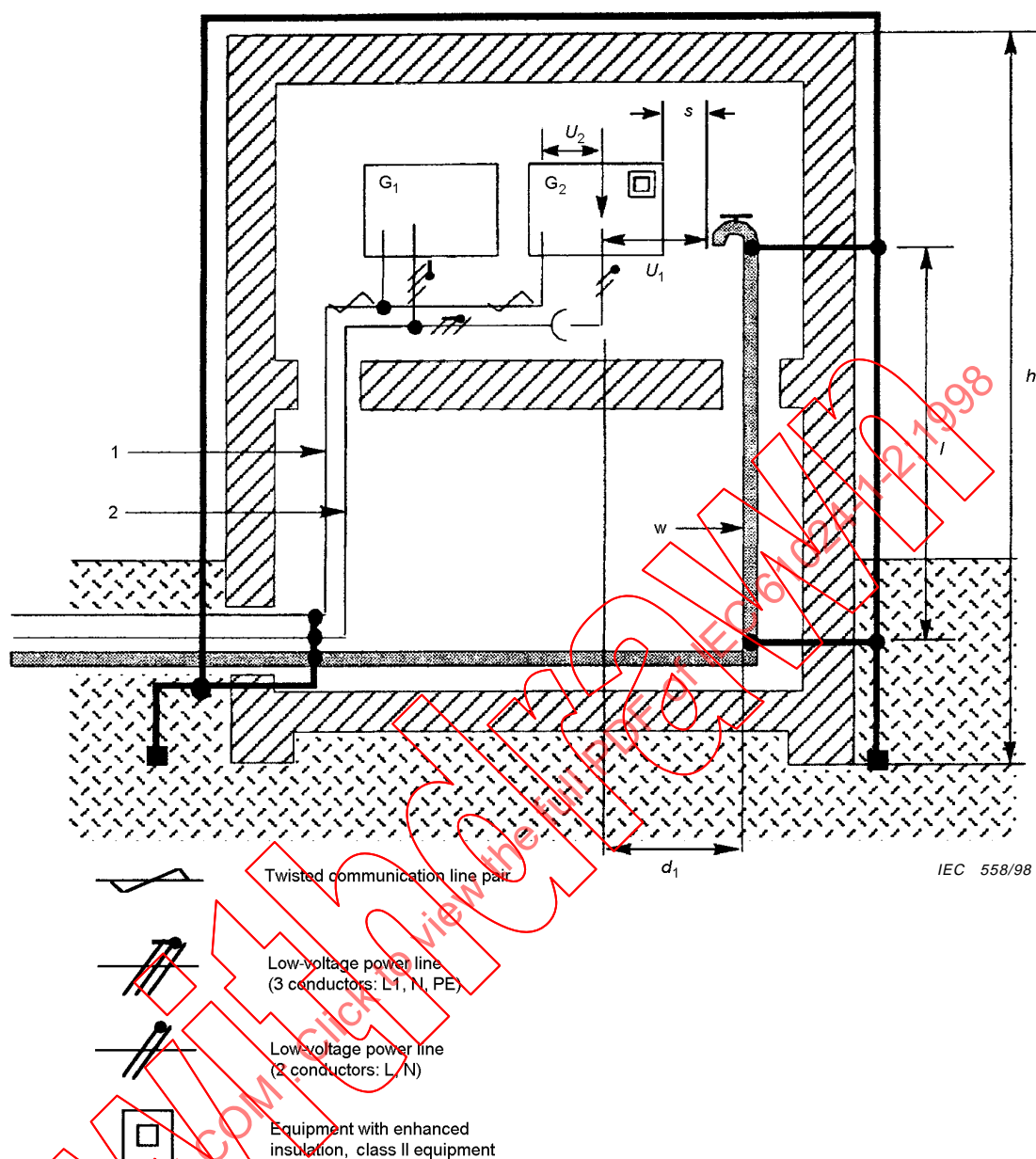


- 1 Système de communication
- 2 Alimentation de puissance
- G_1 Matériel de classe I (avec PE)
- G_2 Matériel de classe II (sans PE)
- U_1 Tension entre la conduction d'eau et l'alimentation de puissance
- U_2 Tension entre les systèmes de communication et de puissance
- d_1 Distance moyenne entre une canalisation d'eau et le matériel G_2 , $d_1 = 1$ m
- h Hauteur de la structure, $h = 20$ m
- l Longueur du cheminement parallèle des installations électriques et des conducteurs de descente
- s Distance de séparation ($s > d$)
- w Canalisation métallique ou autre installation métallique
- d Distance de sécurité (3.2 de la CEI 61024-1)

NOTE 1 – Pour cet exemple, on suppose que la connexion supérieure entre la canalisation w et le conducteur de descente est nécessaire, la distance les séparant étant inférieure à la distance de sécurité prescrite, d .

NOTE 2 – Pour l'évaluation des surtensions, voir cas I de l'annexe B.2.

Figure 26 – Structure sans béton armé dans les murs extérieurs
Exemple d'installation de télécommunication conçue sans multi-équipotentialité

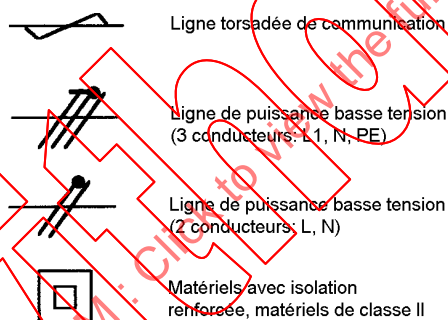
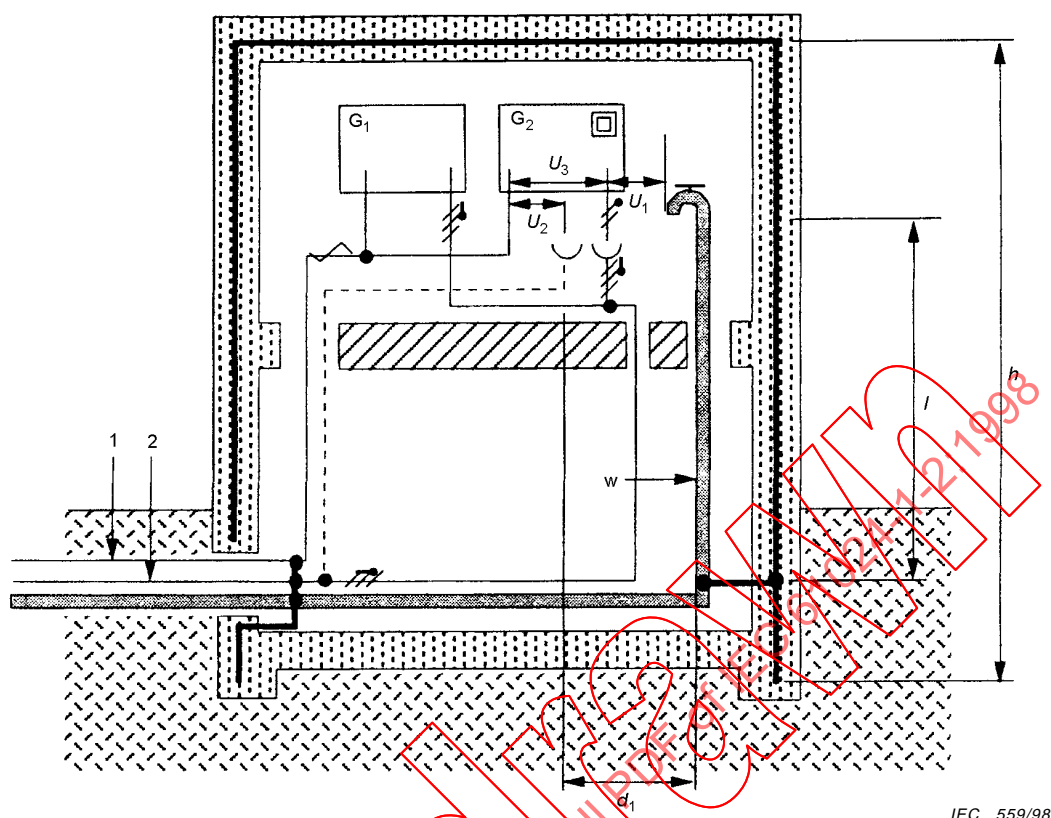


- 1 Communication system
2 Power system
 G_1 Class I equipment (with PE)
 G_2 Class II equipment (without PE)
 U_1 Voltage between water pipe and power system
 U_2 Voltage between communication and power systems
 d_1 Average distance between the water pipe and the equipment G_2 , $d_1 = 1$ m
 h Height of the structure, $h = 20$ m
 l Length of parallel routing of the metallic installations and the LPS down-conductors
 s Separation distance ($s > d$)
 w Metallic water pipe or other metallic installation
 d Safety distance (3.2 of IEC 61024-1)

NOTE 1 – For this example, it is assumed that the upper connection between the waterpipe w and the down-conductor is necessary since the separation distance between them being smaller than the required safety distance d .

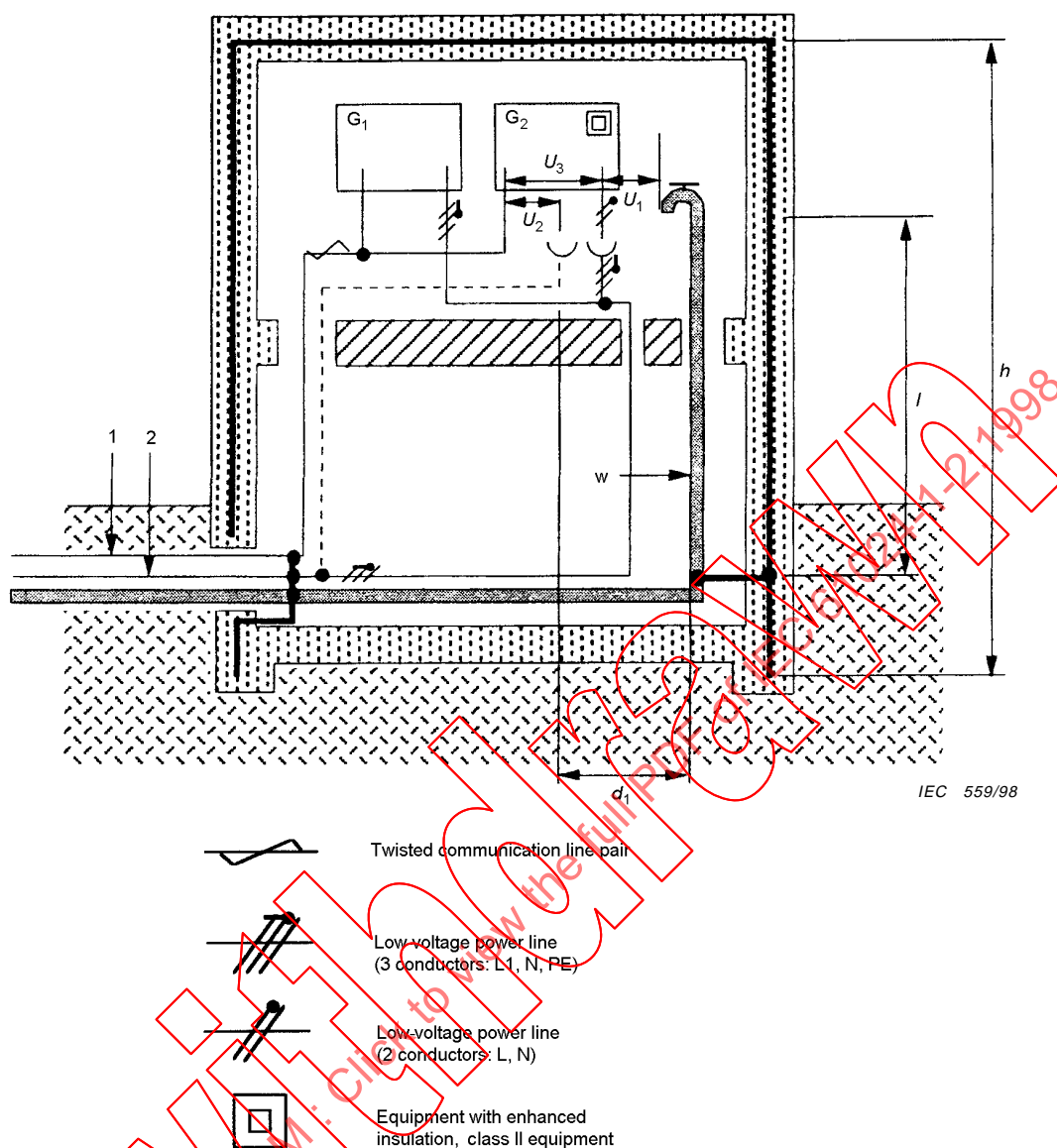
NOTE 2 – For numerical evaluation of overvoltages, see case I in annex B.2

Figure 26 – Structure without steel reinforced outer walls
Example of telecommunication installation designed without multi-bonding



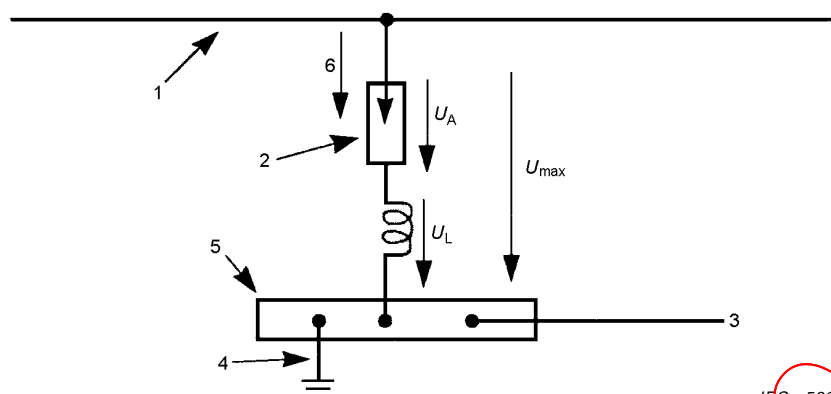
- 1 Système de communication
 2 Alimentation de puissance
 G_1 Matériel de classe I (avec PE)
 G_2 Matériel de classe II (sans PE)
 U_1 Tension entre la conduction d'eau et l'alimentation de puissance
 U_2 et U_3 Tension entre les systèmes de communication et de puissance, fonction de la dimension de la boucle d'induction
 d_1 Distance moyenne entre une canalisation d'eau et le matériel G_2 , $d_1 = 1$ m
 h Hauteur de la structure, $h = 20$ m
 l Longueur du cheminement parallèle des installations électriques et des conducteurs de descente
 w Canalisation métallique d'eau ou autre ou installation métallique
 NOTE – Pour l'évaluation des surtensions, voir cas II de l'annexe B.2.

Figure 27 – Structure avec béton armé dans les murs extérieurs.
 Exemple d'installation de télécommunication conçue sans multi-équipotentialité



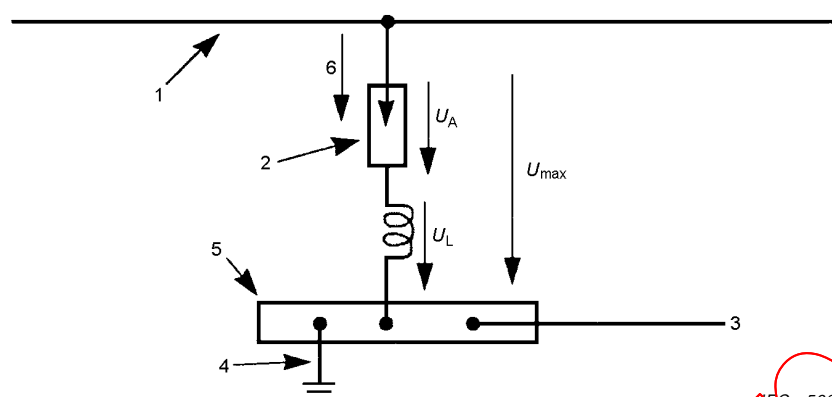
- 1 Communication system
- 2 Power system
- G_1 Class I equipment (with PE)
- G_2 Class II equipment (without PE)
- U_1 Voltage between water pipe and power system
- U_2 and U_3 Voltage between communication and power systems, depending on the size of the induction area
- d_1 Average distance between the water pipe and the equipment G_2 , $d_1 = 1$ m
- h Height of the structure, $h = 20$ m
- l Length of parallel routing of the metallic installations and the LPS down-conductors
- w Metallic water pipe or other metallic installation
- NOTE – For numerical evaluation of overvoltages, see *Case II* in annex B.2

Figure 27 – Structure with steel reinforced outer walls
Example of telecommunication installation designed without multi-bonding



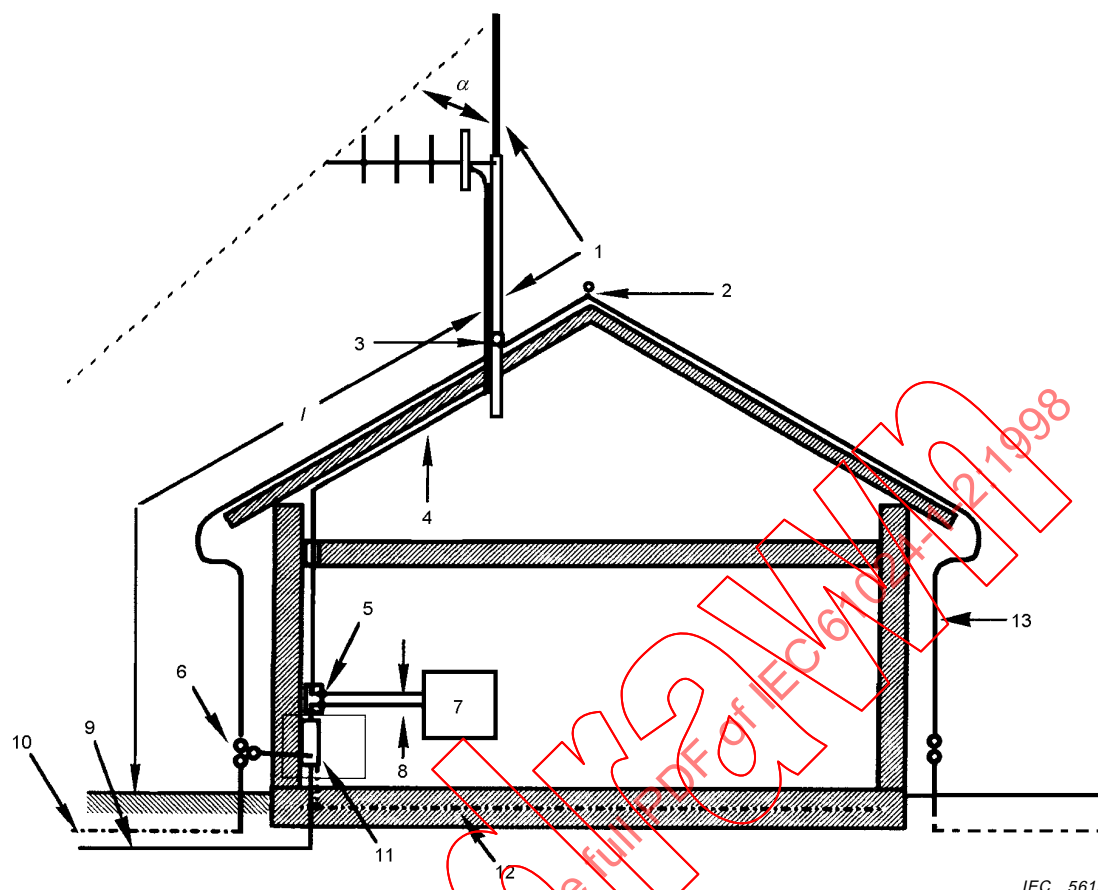
- 1 Conducteur actif
- 2 Parafoudre
- 3 Mise à la terre pour des raisons de protection en basse tension (par exemple PE)
- 4 Prise de terre
- 5 Barre d'équipotentialité
- 6 Une composante du courant de foudre

Figure 28 – Tension de choc entre un conducteur actif et la borne de terre (en présence de parafoudre), par exemple à l'entrée de l'alimentation de la structure



- 1 Live conductor
- 2 SPD
- 3 Protective earth (e.g. PE) in the low-voltage power supply
- 4 Earth-termination system
- 5 Bonding bar
- 6 A component of the lightning current

Figure 28 – Surge voltage between live conductor and bonding bar (when a SPD is installed), e.g. at the entrance of the line to the structure

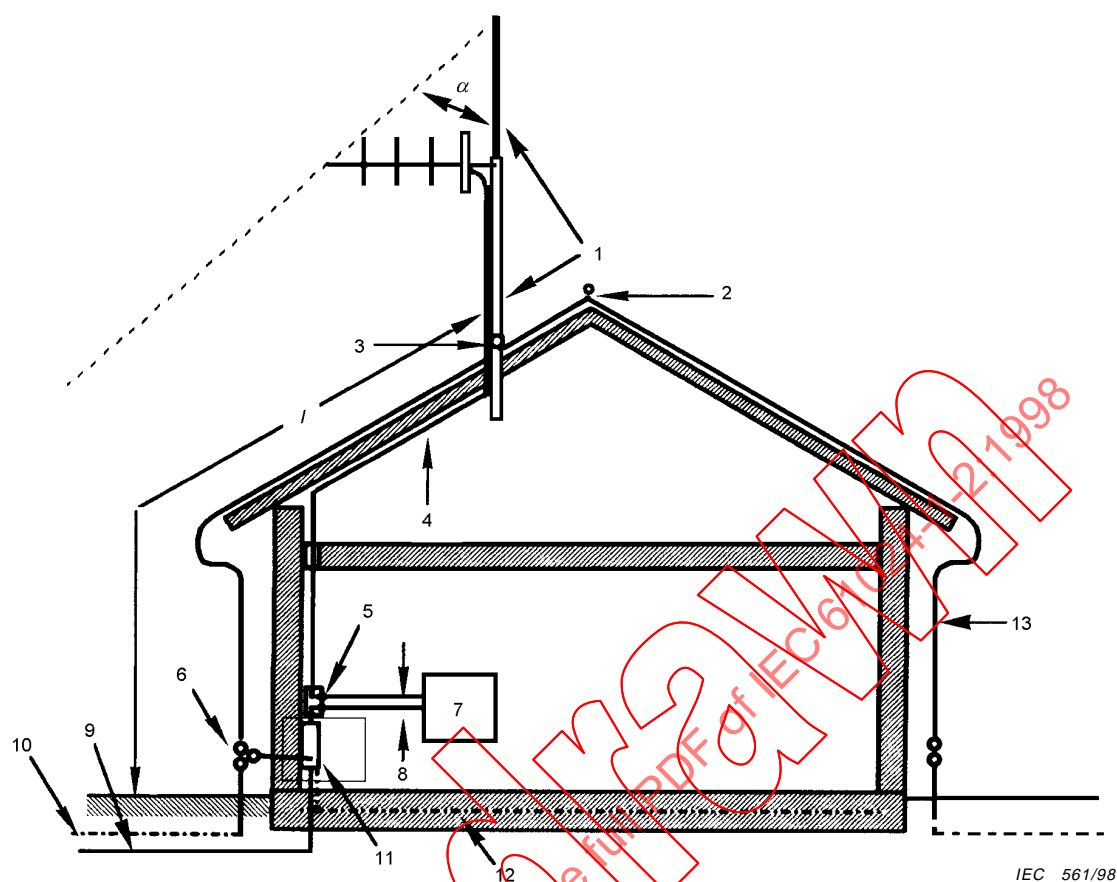


IEC 561/98

- 1 Mât métallique
 - 2 Conducteur horizontal de capture en bordure du toit
 - 3 Connexion entre conducteur de toiture et antenne métallique
 - 4 Câble d'antenne
 - 5 Barre d'équipotentialité reliée au blindage du câble d'antenne
 - 6 Borne d'essai
 - 7 TV
 - 8 Chemins parallèles des câbles d'antenne et de puissance
 - 9 Câble de puissance
 - 10 Prise de terre
 - 11 Tableau de distribution avec parafoudres
 - 12 Boucle à fond de fouille
 - 13 Conducteur du système
- l Longueur pour l'évaluation de la distance de sécurité d
- α Angle de protection

NOTE – Pour des petites structures, deux conducteurs de descente peuvent être suffisants, conformément à 2.2.3 de la CEI 61024-1.

Figure 29 – Exemple d'installation d'un système de protection contre la foudre avec antenne TV sur la tige de capture

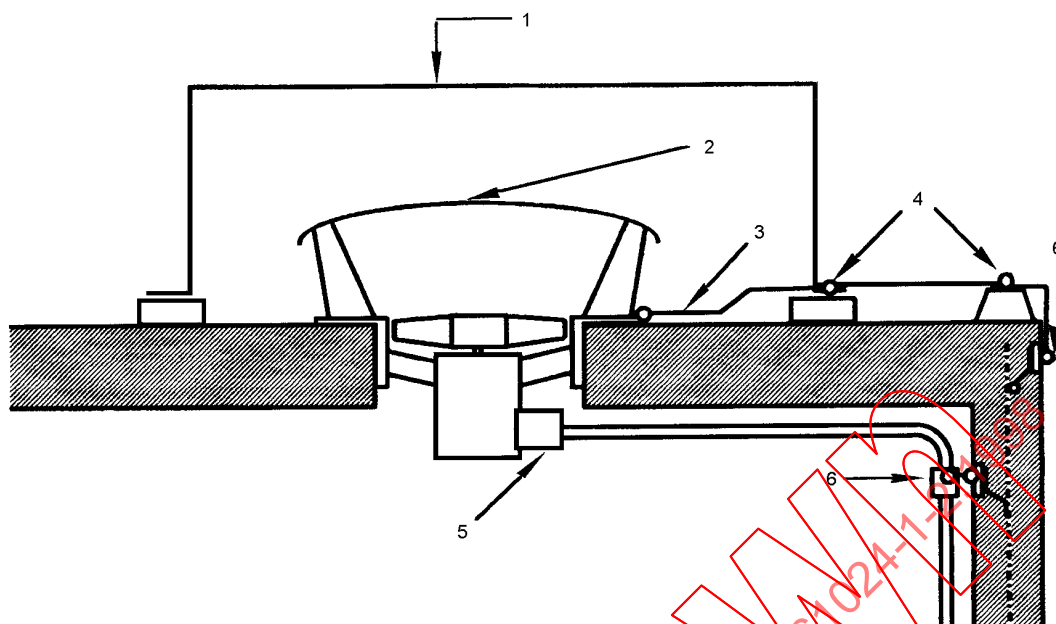


IEC 561/98

- 1 Metallic mast
- 2 Horizontal air-termination conductor on the ridge of the roof
- 3 Joint between the roof down-conductor and the metallic antenna mast
- 4 Antenna cable
- 5 The main bonding bar; metallic shield of the antenna cable is connected to the bonding bar
- 6 Test joint
- 7 TV equipment
- 8 Parallel routing of the antenna cable and the electric power cable
- 9 Electric power cable
- 10 Earth termination system
- 11 The main electric power distribution box with SPD
- 12 Foundation earth electrode
- 13 LPS conductor
- l* Length for safety distance *d* evaluation
- α Protective angle

NOTE – For small structures only two down-conductors may be sufficient, according to 2.2.3 of IEC 61024-1.

Figure 29 – Example of construction of lightning protection of a structure with a TV antenna using the mast as an air-termination rod

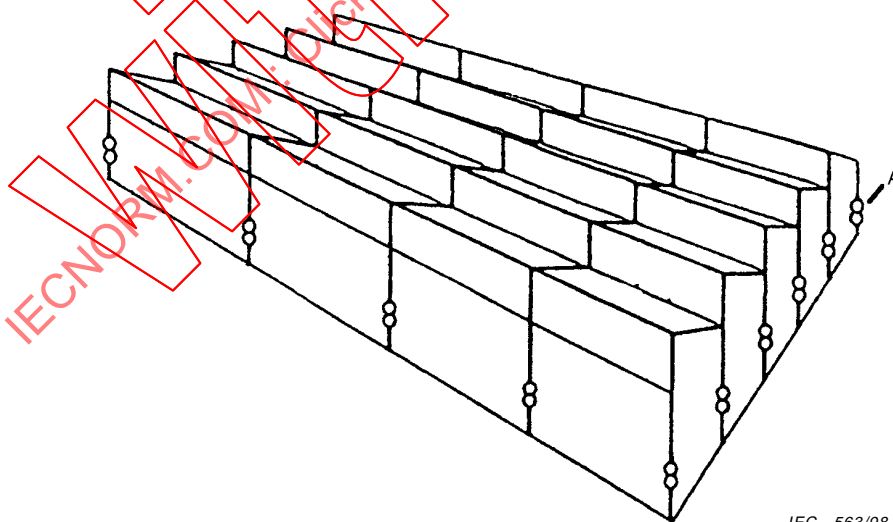


IEC 562/98

- 1 Conducteur de capture
- 2 Enveloppe isolante
- 3 Conducteur d'équipotentialité
- 4 Conducteur horizontal de capture
- 5 Matériel électrique
- 6 Borne de connexion aux éléments conducteurs de la structure

NOTE – Le matériel électrique intérieur est connecté au dispositif de capture et aux éléments conducteurs de la structure, conformément à 1.3 de la CEI 61024-1 par un câble blindé supportant une part importante du courant de foudre.

Figure 30 – Fixation métallique de toiture protégée contre les impacts directs connectée toutefois au dispositif de capture

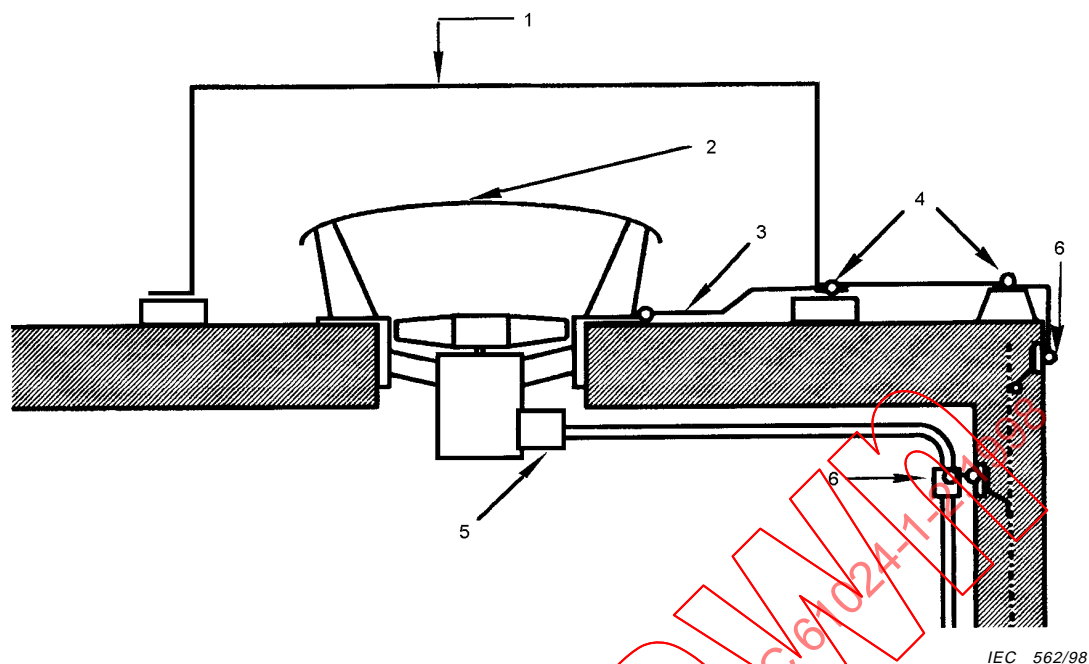


IEC 563/98

- A Borne d'essai

NOTE – Toutes les dimensions doivent être conformes au niveau de protection selon les tableaux 1 et 3 de la CEI 61024-1.

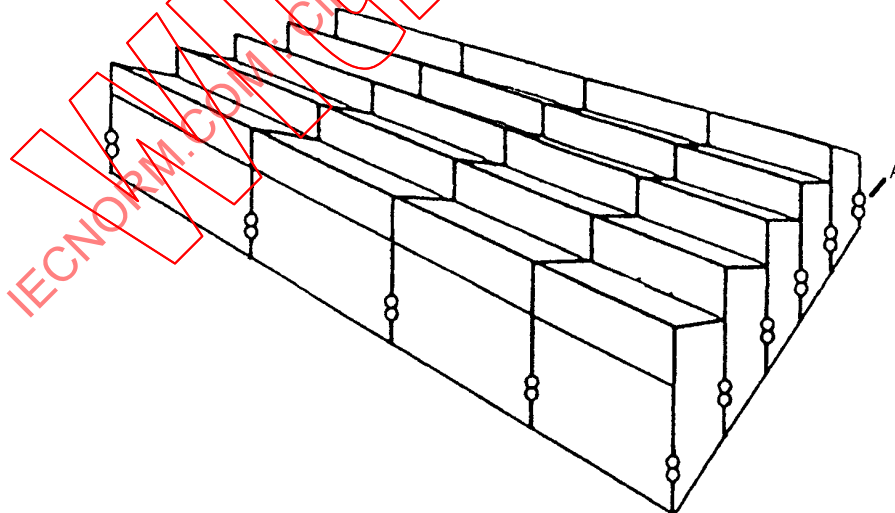
Figure 31 – Système de protection sur toiture étagée



- 1 Air-termination conductor
- 2 Insulating material cover
- 3 Bonding conductor
- 4 Horizontal air-termination conductor
- 5 Electric equipment
- 6 Bonding joint to the conductive elements of the structure

NOTE – The enclosed electric equipment is bonded to the air-termination system and to the conductive elements of the structure, complying with 4.3 of IEC 61024-1, through the metallic cable shield which has to withstand a substantial part of the lightning current.

Figure 30 – A metallic roof fixture protected against direct lightning interception, connected to the air-termination system



A Test joint

NOTE – All dimensions shall comply with the selected protection level according to tables 1 and 3 of IEC 61024-1.

Figure 31 – An example of LPS on a shedded roof structure

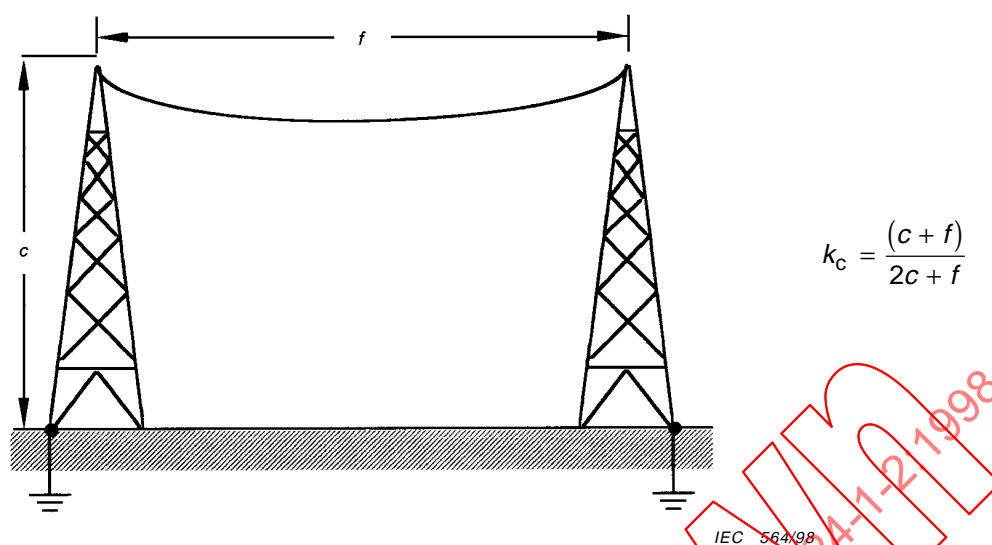
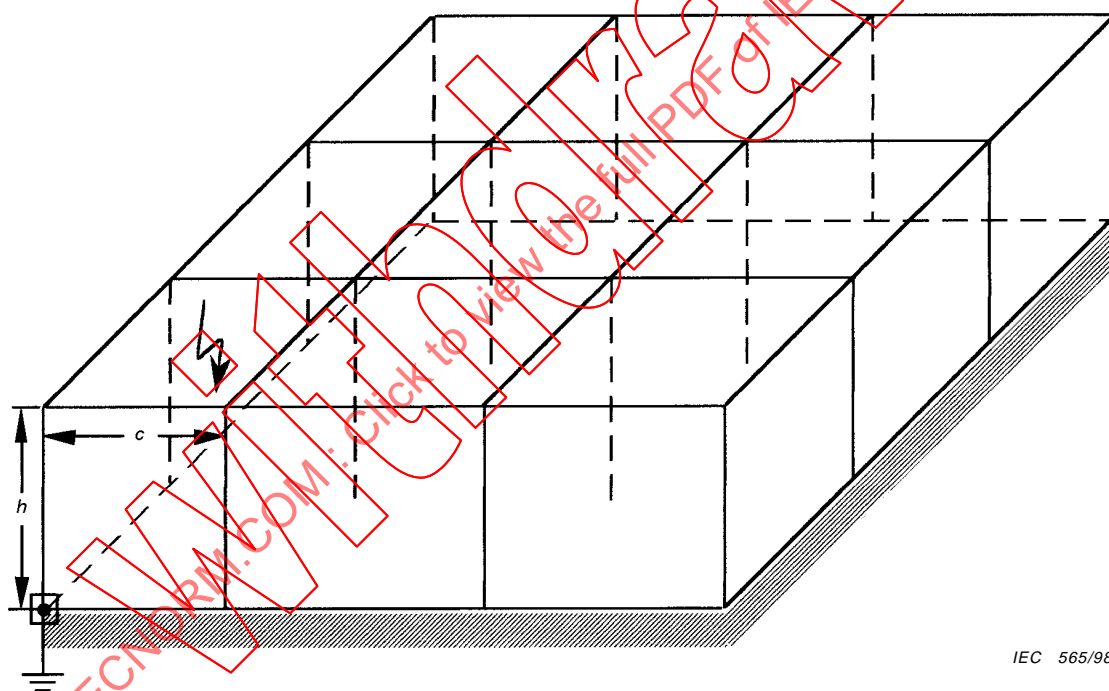


Figure 32 – Valeurs du coefficient k_c dans le cas d'un dispositif de capture aérien et d'une prise de terre de type A

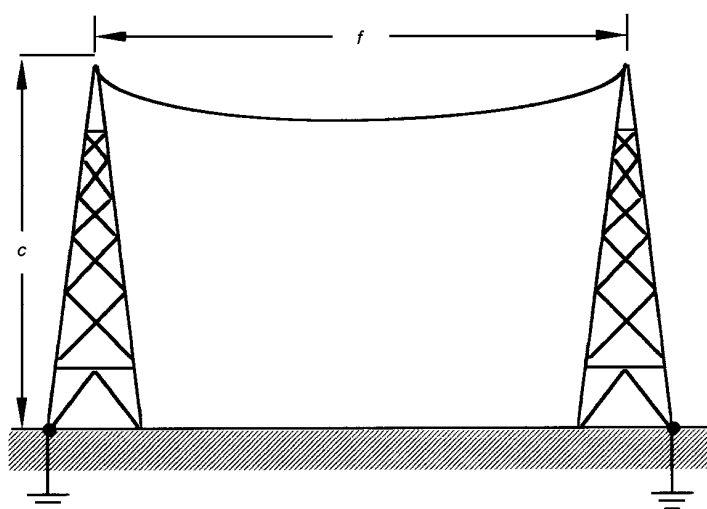


$$k_c = \frac{1}{2n} + 0,1 + 0,2 \sqrt[3]{\frac{c}{h}}$$

- n Nombre total de conducteurs de descente
 c Distance par rapport au conducteur de descente le plus proche
 h Distance entre ceinturages

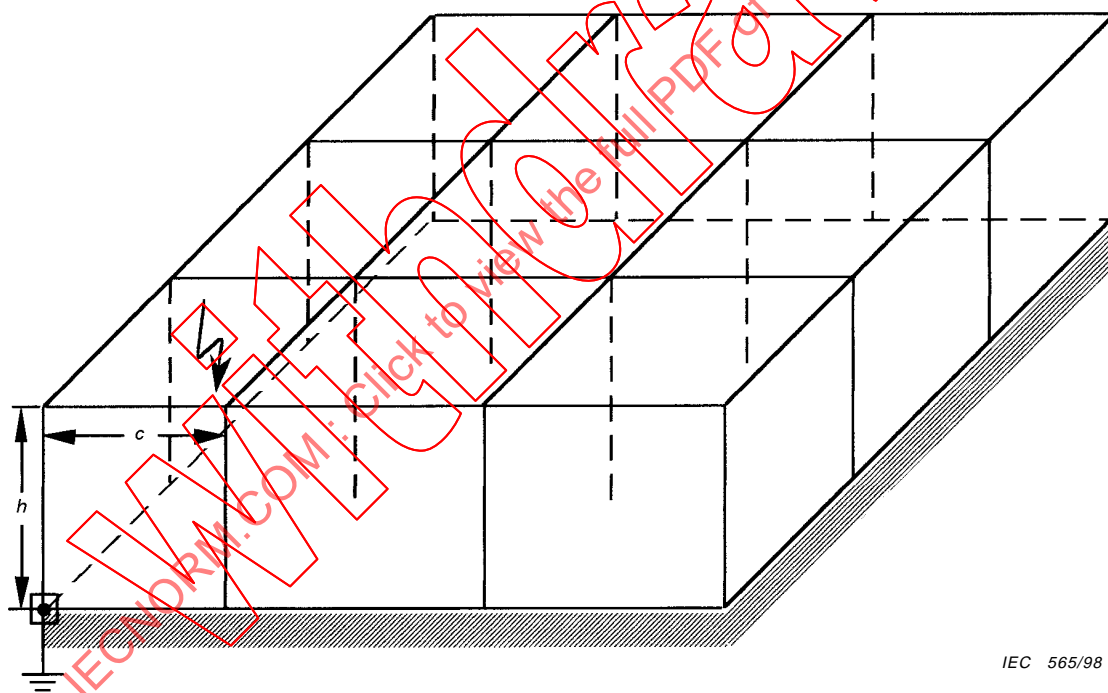
NOTE – Pour un calcul précis des valeurs du coefficient k_c , les figures 34 et 35 sont applicables.

Figure 33 – Valeurs du coefficient k_c dans le cas d'un maillage de capture et d'une prise de terre de type B



$$k_c = \frac{(c + f)}{2c + f}$$

Figure 32 – Values of coefficient k_c in the case of a wire air-termination system and type A earth termination system



IEC 565/98

$$k_c = \frac{1}{2n} + 0,1 + 0,2 \sqrt[3]{\frac{c}{h}}$$

- n Total number of down-conductors
 c Distance from the nearest down-conductor
 h Spacing between ring conductors

NOTE – For a detailed evaluation of coefficient k_c values, figures 34 and 35 apply.

Figure 33 – Values of coefficient k_c in the case of a mesh air-termination system and type B earth-termination system

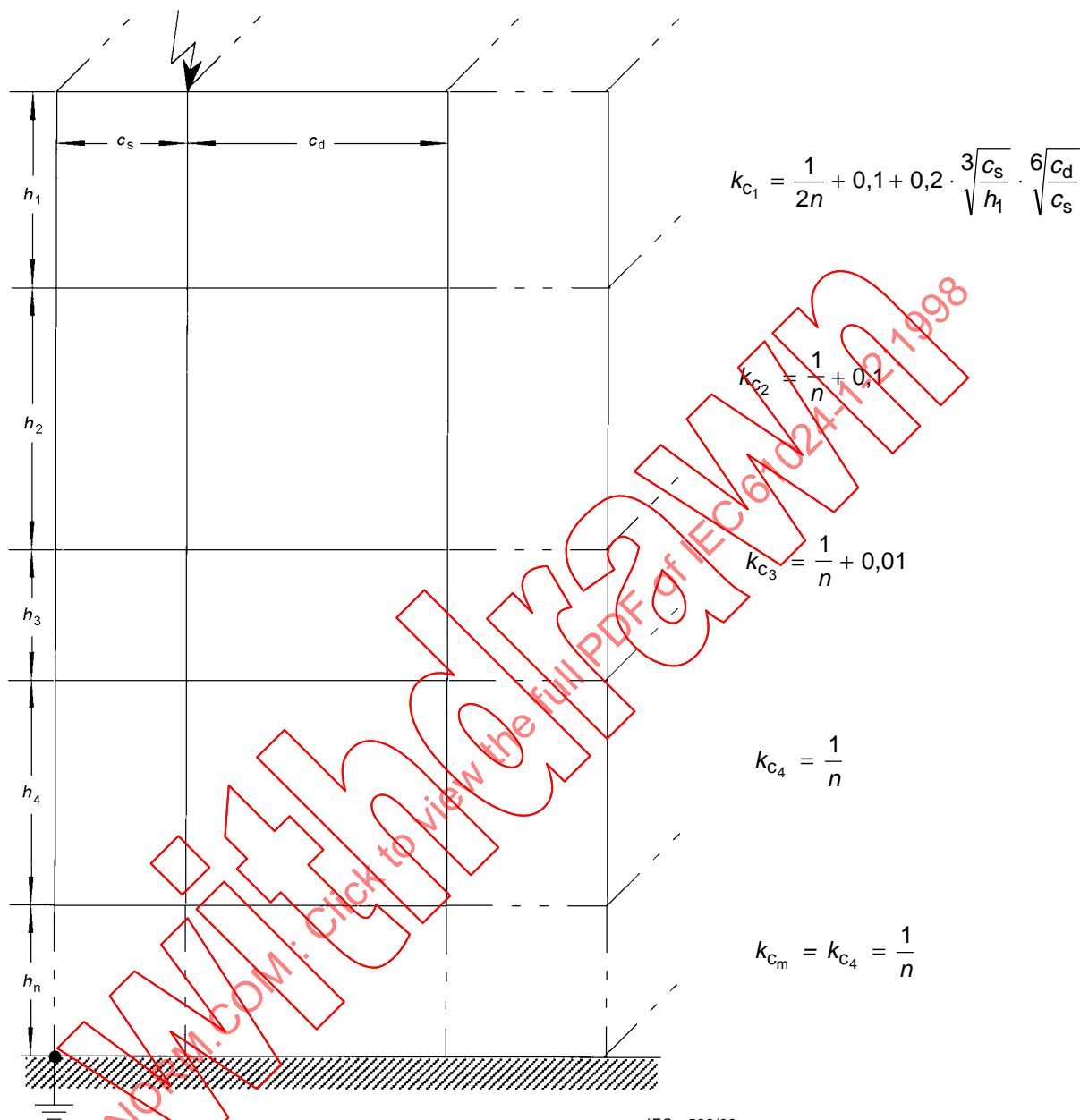


Figure 34 – Valeurs du coefficient k_c dans le cas d'un maillage de capture, de ceinturages des conducteurs de descente et d'une prise de terre de type B

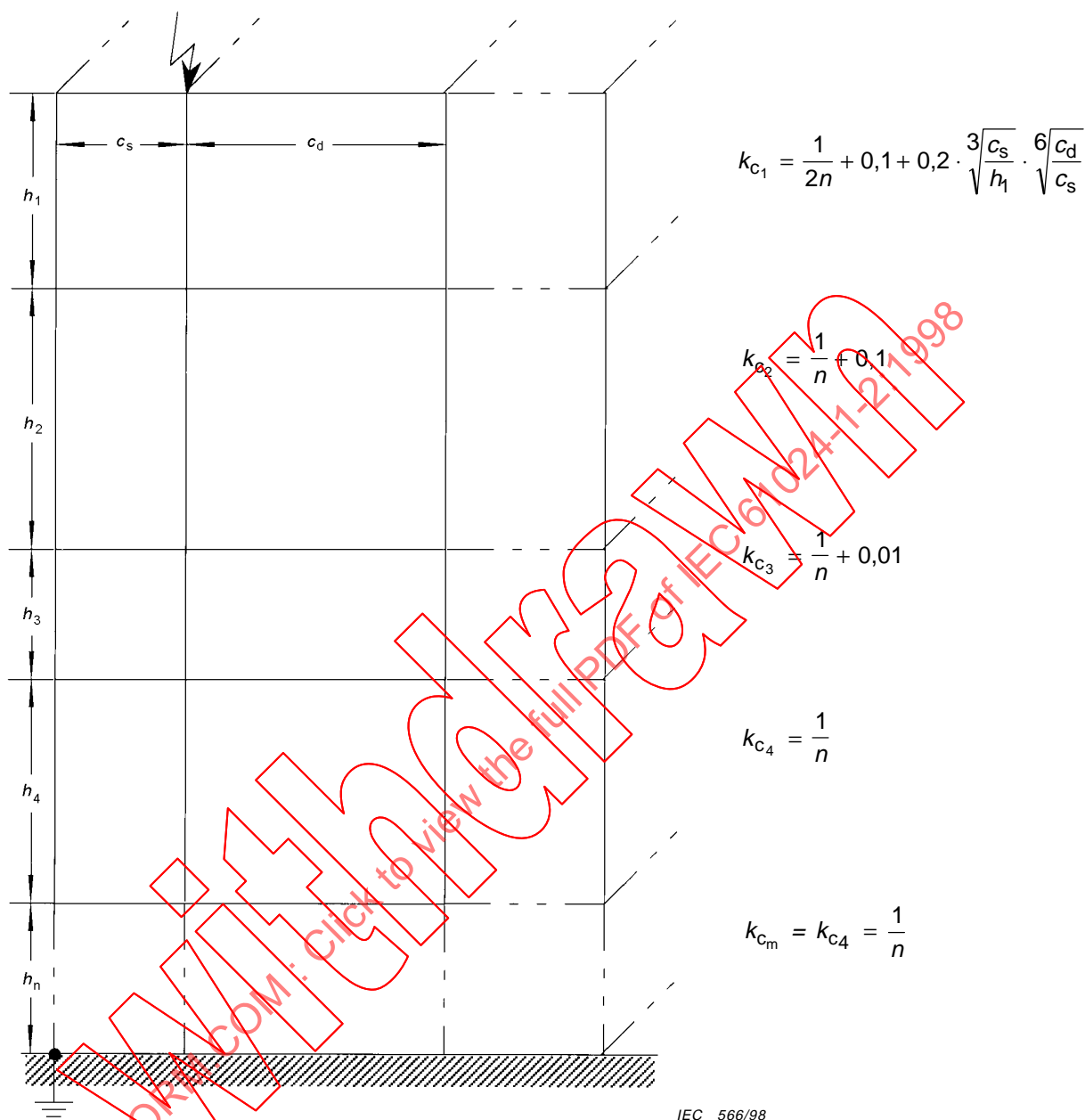
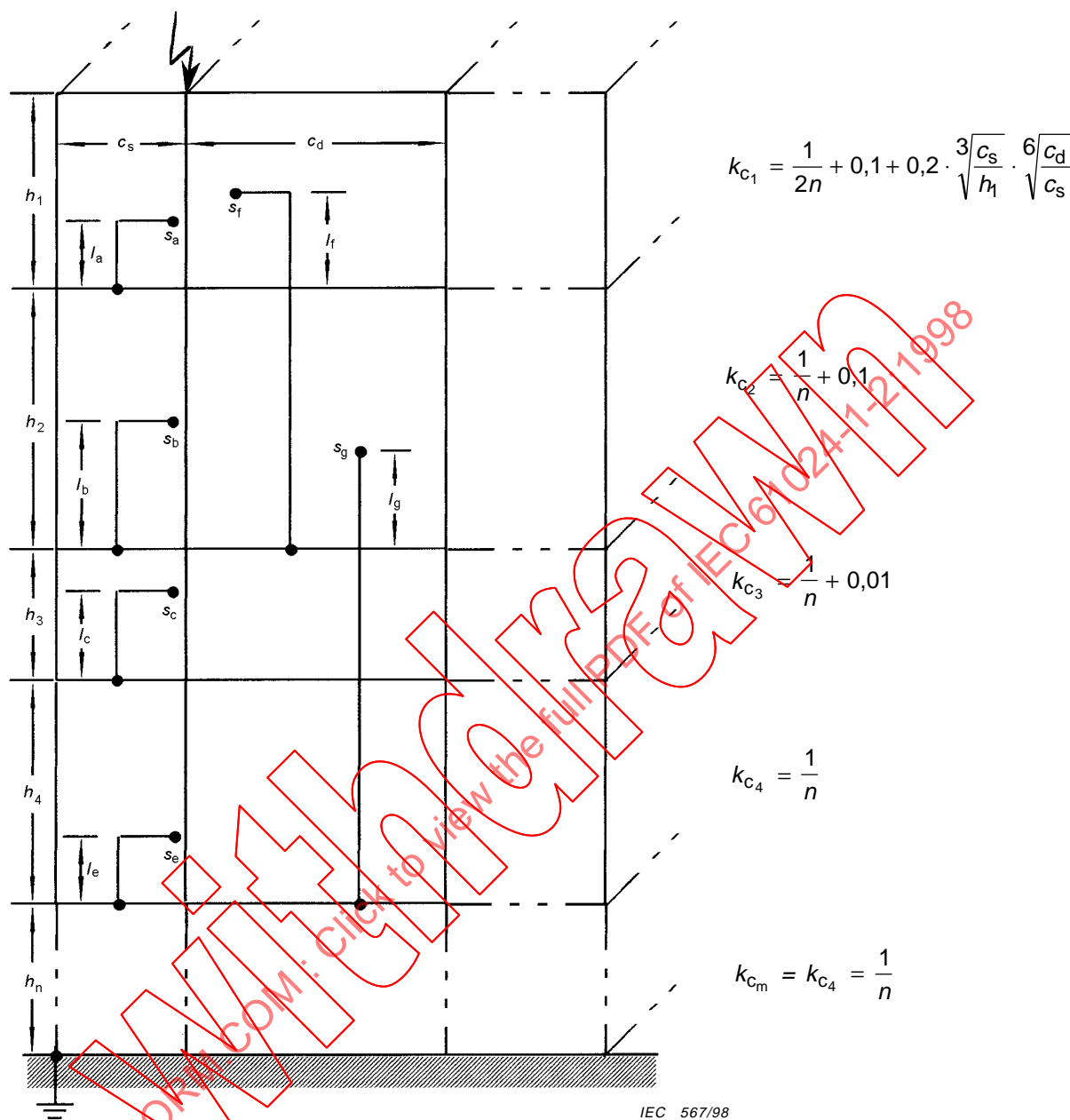


Figure 34 – Values of coefficient k_c in the case of mesh air-termination systems, interconnecting ring of the down-conductors and type B earth termination system



d Distance de sécurité

s Distance de séparation selon 3.2 de la CEI 61024-1

$$s_a \geq d_a = \frac{k_i}{k_m} \cdot k_{c1} \cdot l_a$$

$$s_b \geq d_b = \frac{k_i}{k_m} \cdot k_{c2} \cdot l_b$$

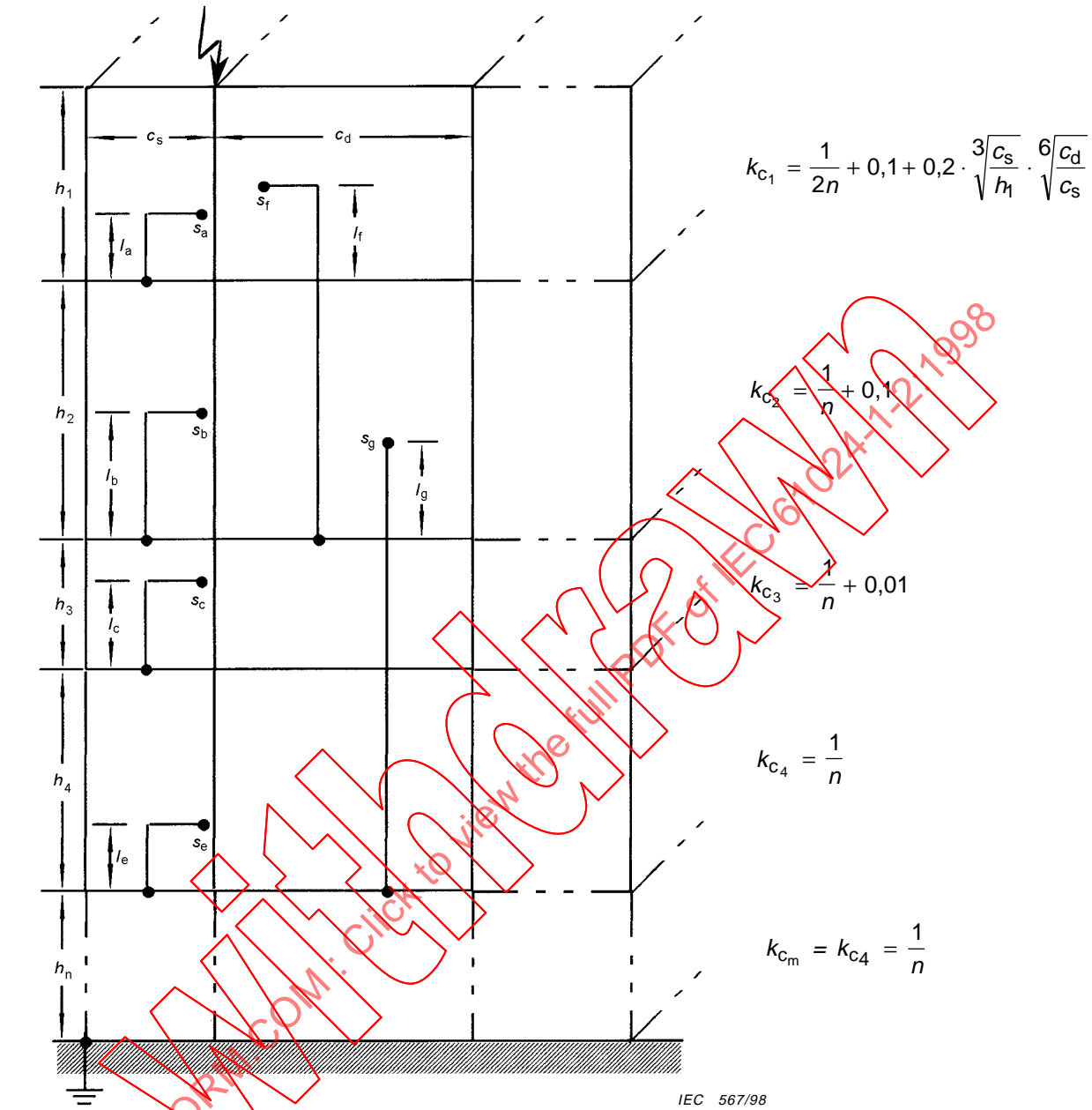
$$s_c \geq d_c = \frac{k_i}{k_m} \cdot k_{c3} \cdot l_c$$

$$s_e \geq d_e = \frac{k_i}{k_m} \cdot k_{c4} \cdot l_e$$

$$s_f \geq d_f = \frac{k_i}{k_m} (k_{c1} \cdot k_{c2} \cdot h_2)$$

$$s_g \geq d_g = \frac{k_i}{k_m} (k_{c2} \cdot l_g \cdot k_{c3} \cdot h_3 + k_{c4} \cdot h_4)$$

Figure 35 – Exemples de calcul de la distance de sécurité *d* dans le cas d'un maillage de capture, de ceinturages d'interconnexion des conducteurs de descente et d'une prise de terre de type B



d Safety distance

s Separation distance according to 3.2 of IEC 61024-1

$$s_a \geq d_a = \frac{k_i}{k_m} \cdot k_{c1} \cdot l_a$$

$$s_b \geq d_b = \frac{k_i}{k_m} \cdot k_{c2} \cdot l_b$$

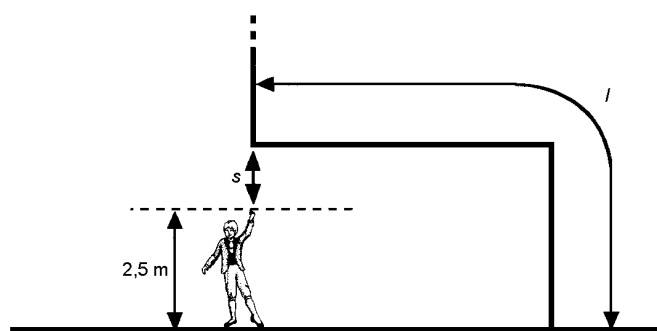
$$s_c \geq d_c = \frac{k_i}{k_m} \cdot k_{c3} \cdot l_c$$

$$s_e \geq d_e = \frac{k_i}{k_m} \cdot k_{c4} \cdot l_e$$

$$s_f \geq d_f = \frac{k_i}{k_m} (k_{c1} \cdot k_{c2} \cdot h_2)$$

$$s_g \geq d_g = \frac{k_i}{k_m} (k_{c2} \cdot l_g \cdot k_{c3} \cdot h_3 + k_{c4} \cdot h_4)$$

Figure 35 – Examples of the calculation of the safety distance *d* in the case of mesh air-termination system, interconnecting ring of the down-conductors and type B earth-termination system



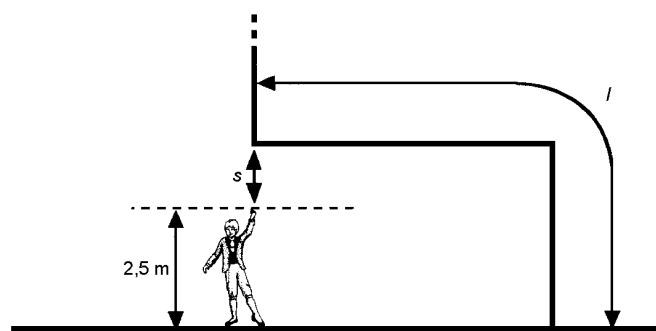
IEC 568/98

s Distance de séparation selon 3.2 de la CEI 61024-1

l Longueur pour l'évaluation de la distance de sécurité *d*

NOTE – La hauteur de la personne, main levée, est prise égale à 2,5 m.

Figure 36 – Conception d'un système de protection pour un encorbellement



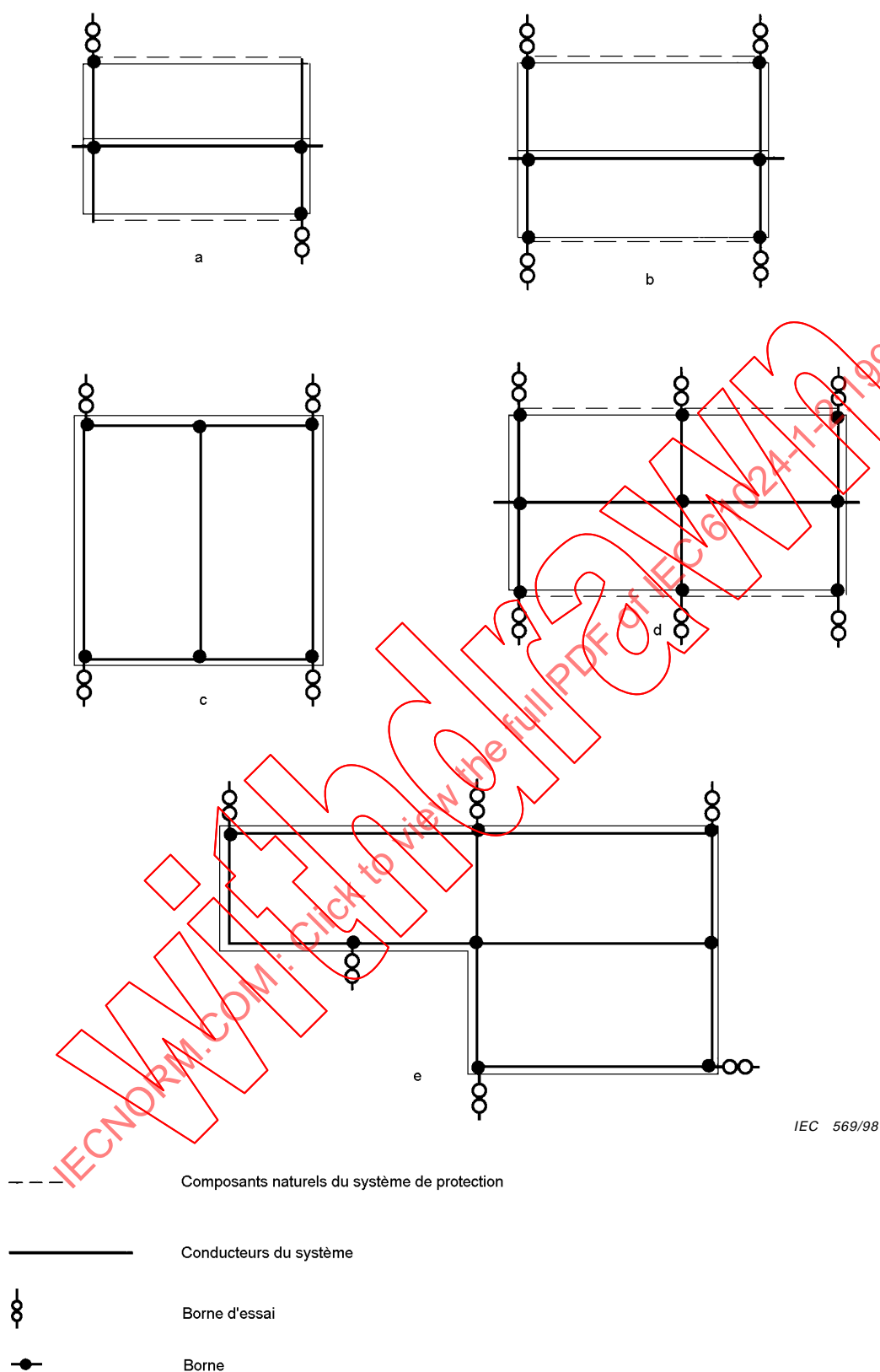
IEC 568/98

s separation distance according to 3.2 of IEC 61024-1

l Length for the safety distance d evaluation

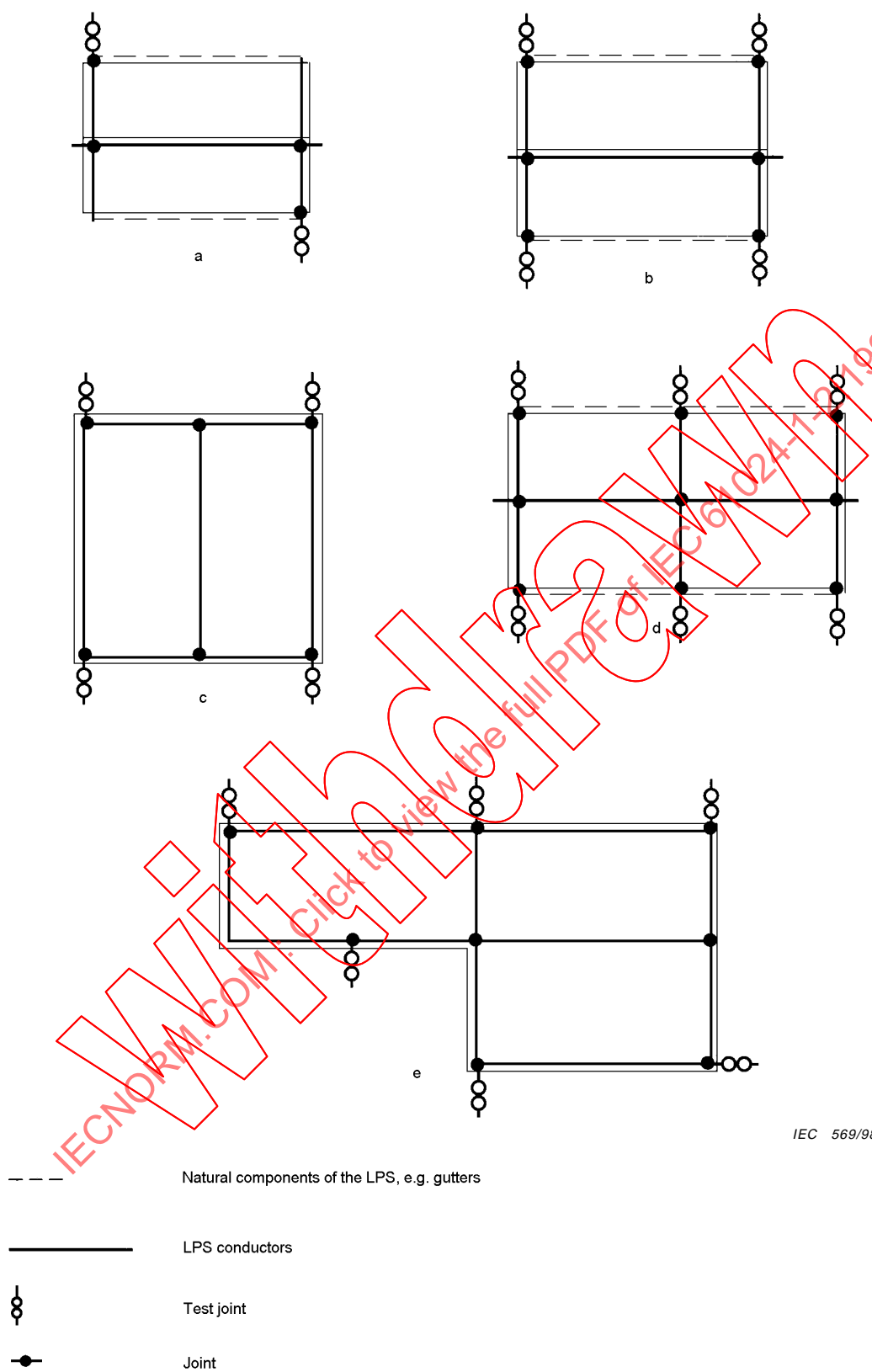
NOTE – The height of the person with raised hand is taken to be 2,5 m.

Figure 36 – LPS design for a cantilevered part of a structure



NOTE – Les distances entre conducteurs de descente et les mailles sont conformes au niveau de protection choisi selon le tableau 1 de la CEI 61024-1.

Figure 37 – Conception d'une installation extérieure de protection contre la foudre pour des structures importantes



IEC 569/98

NOTE – The distances between the down-conductors and the mesh size should comply with the selected protection level according to table 1 of IEC 61024-1.

Figure 37 – Example of design of the external LPS for structures

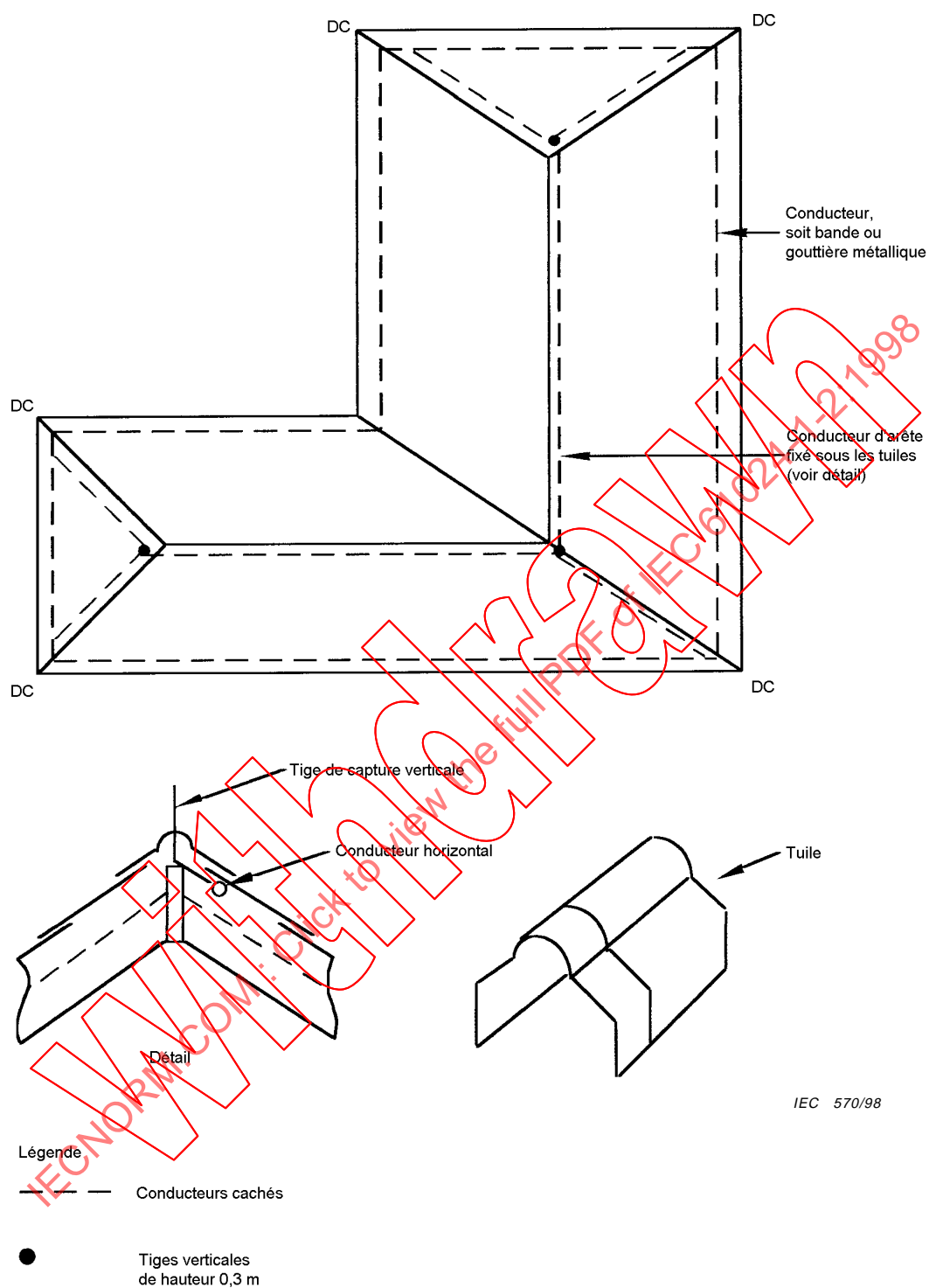
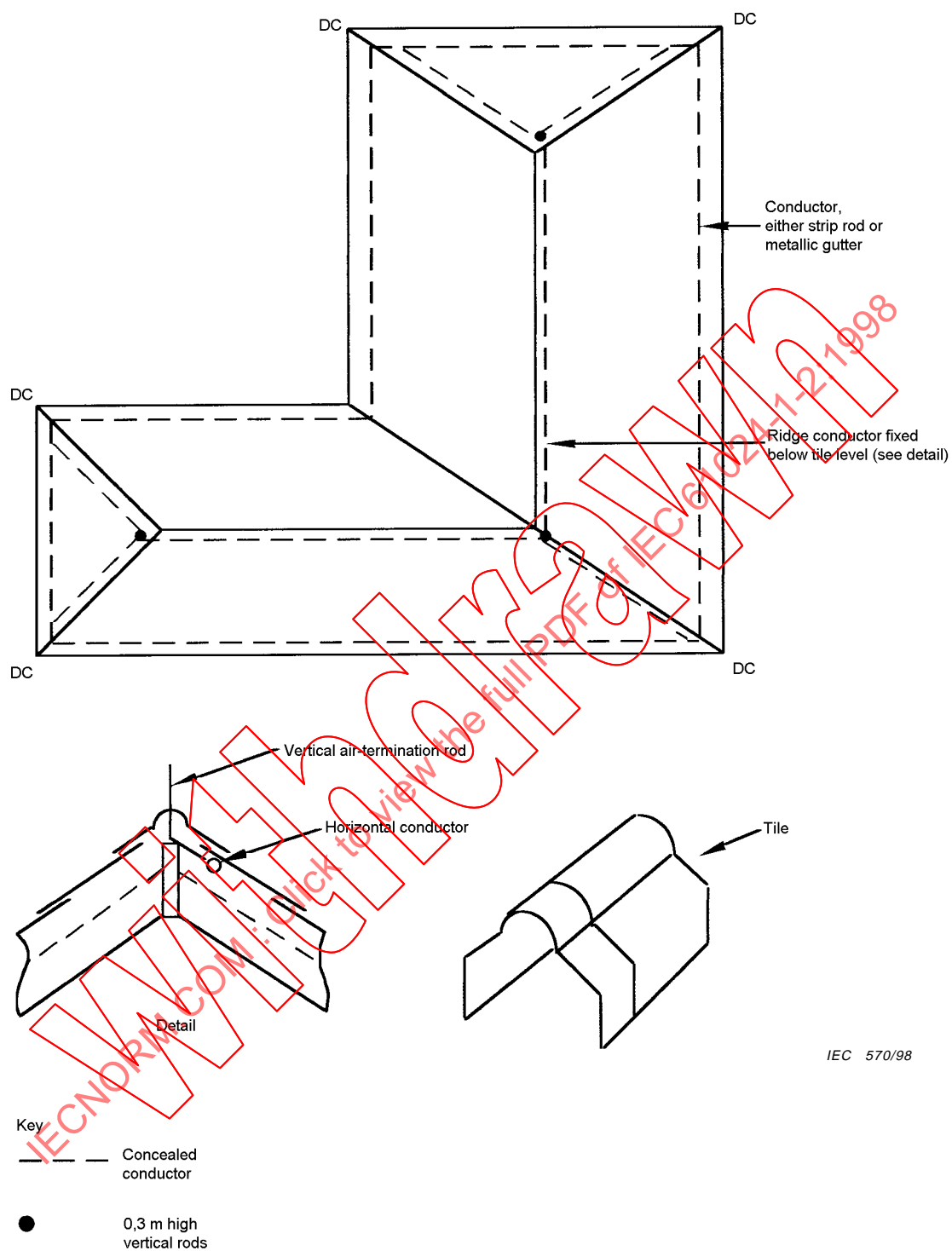
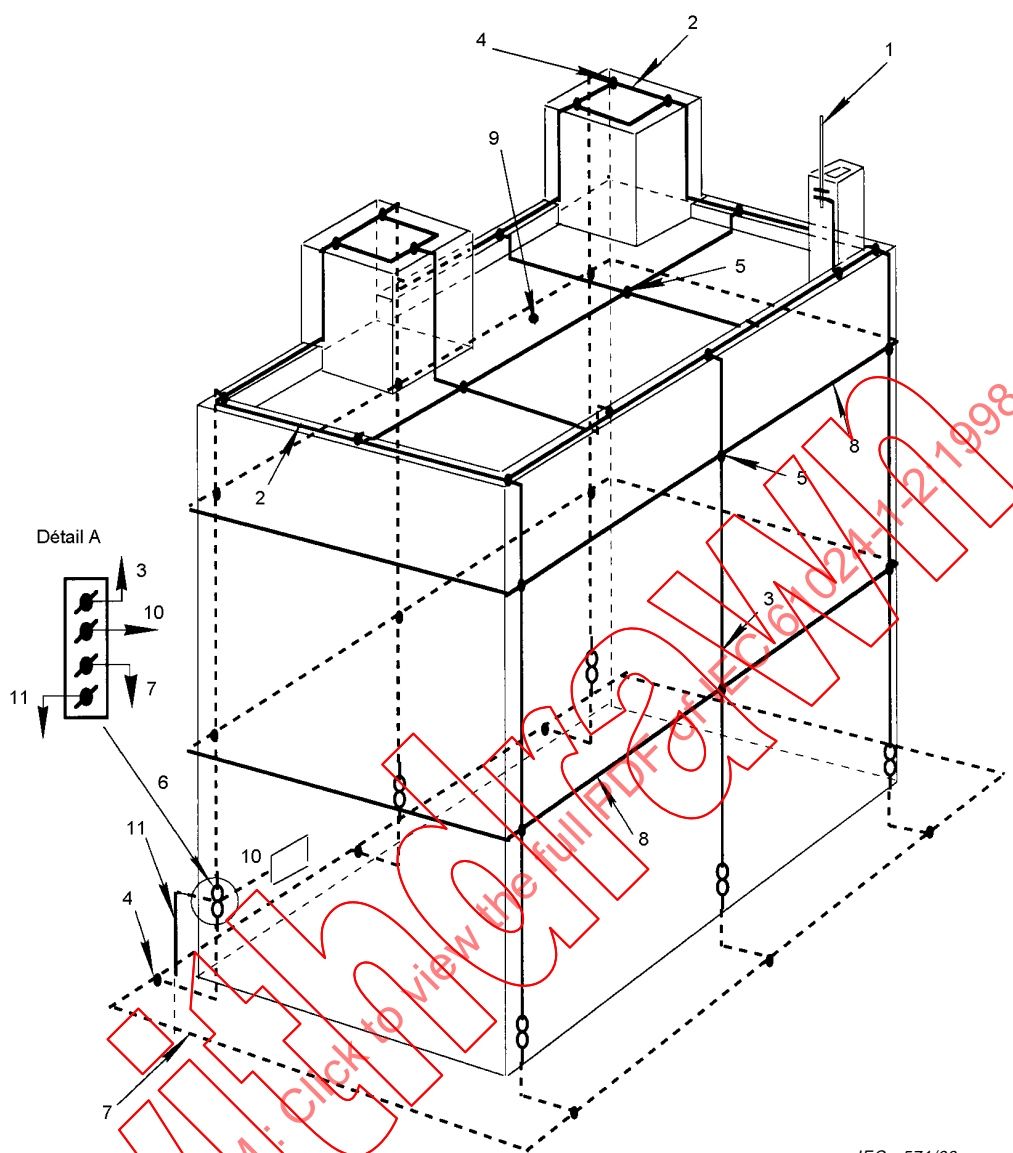


Figure 38 – Conducteurs de capture masqués pour des bâtiments de hauteur inférieure à 20 m, avec des toits en pente



IEC 570/98

Figure 38 – Air-termination and visually concealed conductors for buildings less than 20 m high, with sloping roofs

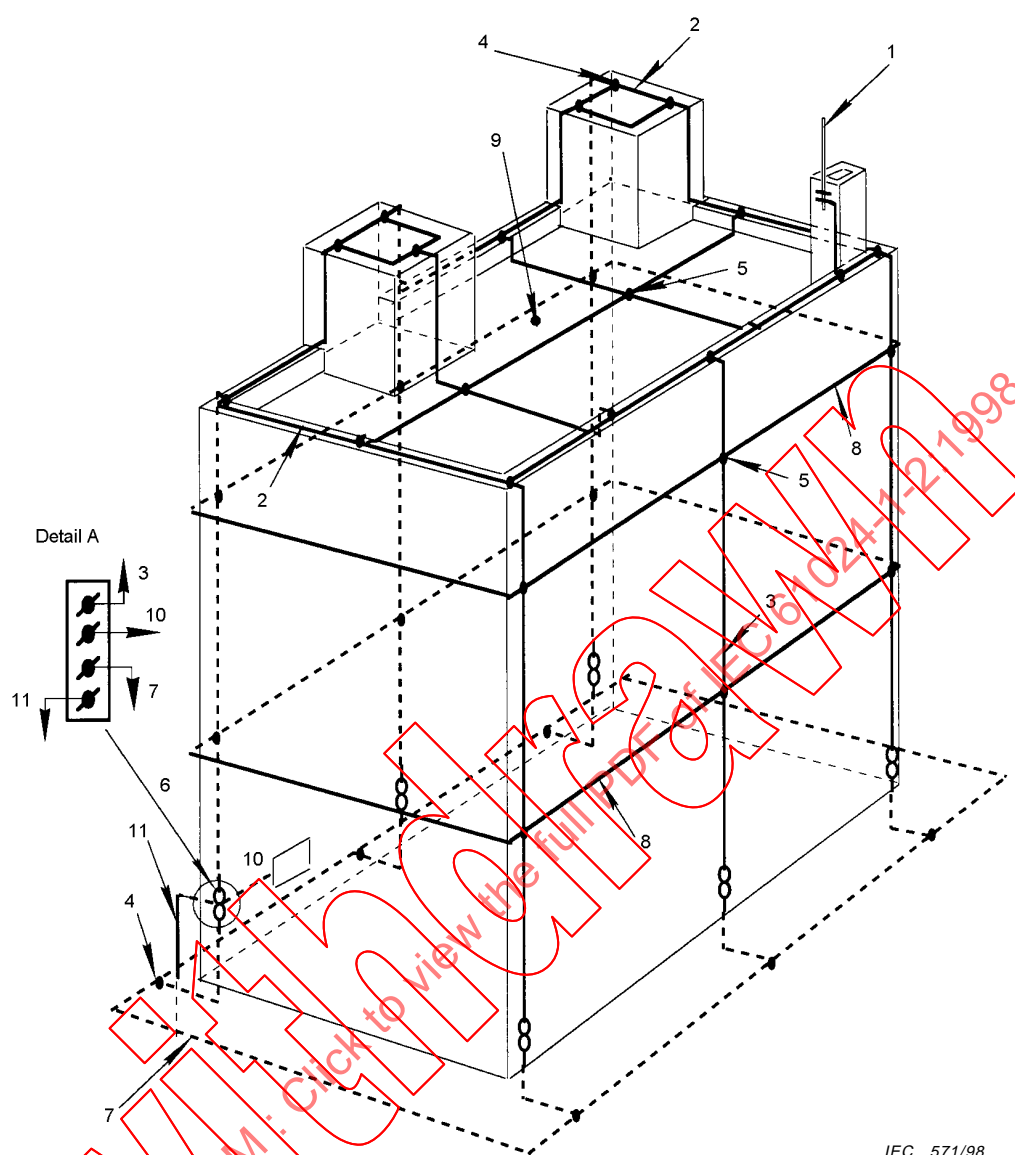


IEC 571/98

- 1 Tige de capture
- 2 Conducteur horizontal de capture
- 3 Conducteur de descente
- 4 Borne T
- 5 Borne de croisement
- 6 Borne d'essai
- 7 Prise de terre disposition B, électrode de terre en boucle
- 8 Conducteur d'équipotentialité en boucle
- 9 Toiture en terrasse avec fixations de toiture
- 10 Prise pour la connexion de la barre d'équipotentialité du système de protection intérieur
- 11 Prise pour la connexion d'une prise de terre disposition A

NOTE – Un conducteur d'équipotentialité en boucle est utilisé. Le détail A montre une disposition possible pour la borne d'essai. La distance entre les conducteurs de descente est choisie selon le tableau 3 de la CEI 61024-1.

Figure 39 – Disposition du système de protection extérieure pour une structure de matériel isolant (bois ou briques) d'une hauteur maximale de 60 m avec toiture en terrasse et fixations de toiture

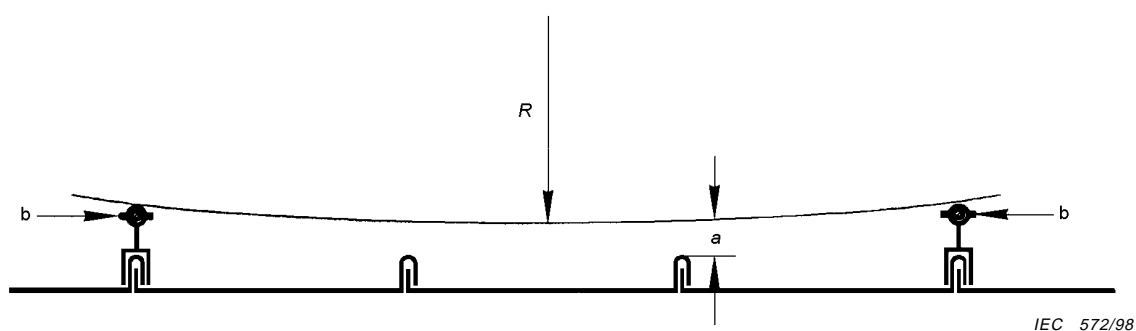


IEC 571/98

- 1 Air-termination rod
- 2 Horizontal air-termination conductor
- 3 Down-conductor
- 4 T-type joint
- 5 Cross-type joint
- 6 Test joint
- 7 Type B earth electrode arrangement, ring earth electrode
- 8 Equipotentialization ring conductor
- 9 Flat roof with roof fixtures
- 10 Terminal for connecting the equipotentialization bar of the internal LPS
- 11 Terminal for connection A-type earthing electrodes

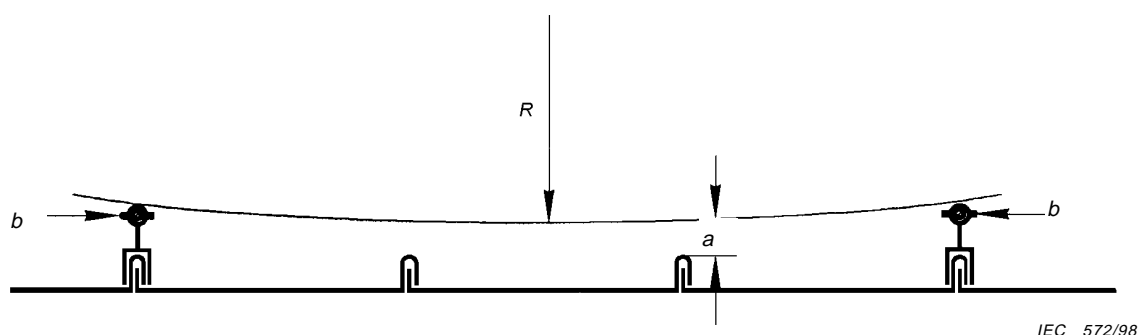
NOTE – An equipotentialization ring conductor is applied. Detail A shows a possible design of the test joint. The distance between the down-conductors complies with the requirements in table 3 of IEC 61024-1.

Figure 39 – Positioning of the external LPS on a structure made of insulating material e.g. wood or bricks with a height up to 60 m with flat roof and with roof fixtures



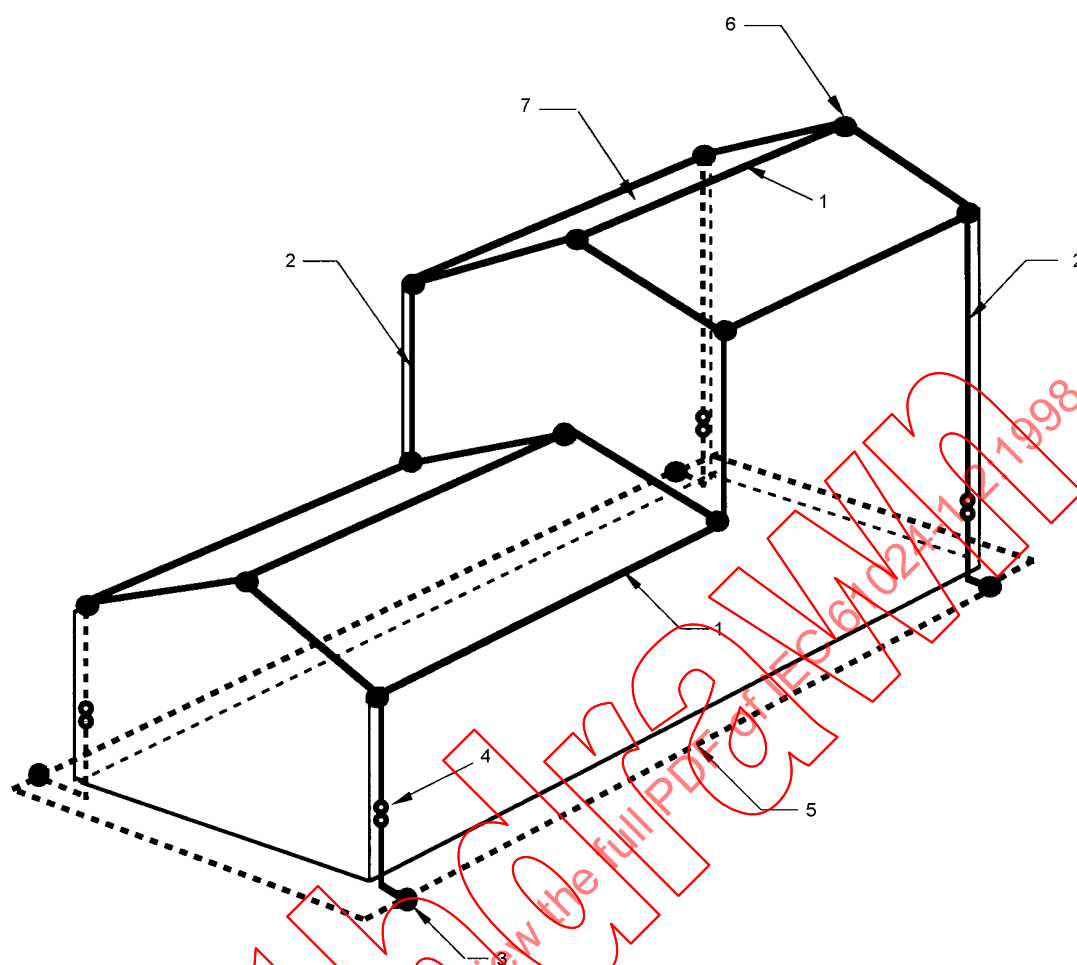
- R Rayon de la sphère fictive, selon le tableau 1 de la CEI 61024-1
- a La sphère fictive ne doit pas toucher de parties métalliques
- b Conducteurs de capture

Figure 40 – Installation d'un dispositif de capture sur une toiture isolante où le percement de la couverture n'est pas permis



- R Radius of the rolling sphere, table 1 of IEC 61024-1
 a The rolling sphere should not touch the metallic plate grooves
 b Air-termination conductors

Figure 40 – Construction of the air-termination on a roof with conductive covering where puncturing of the covering is not acceptable

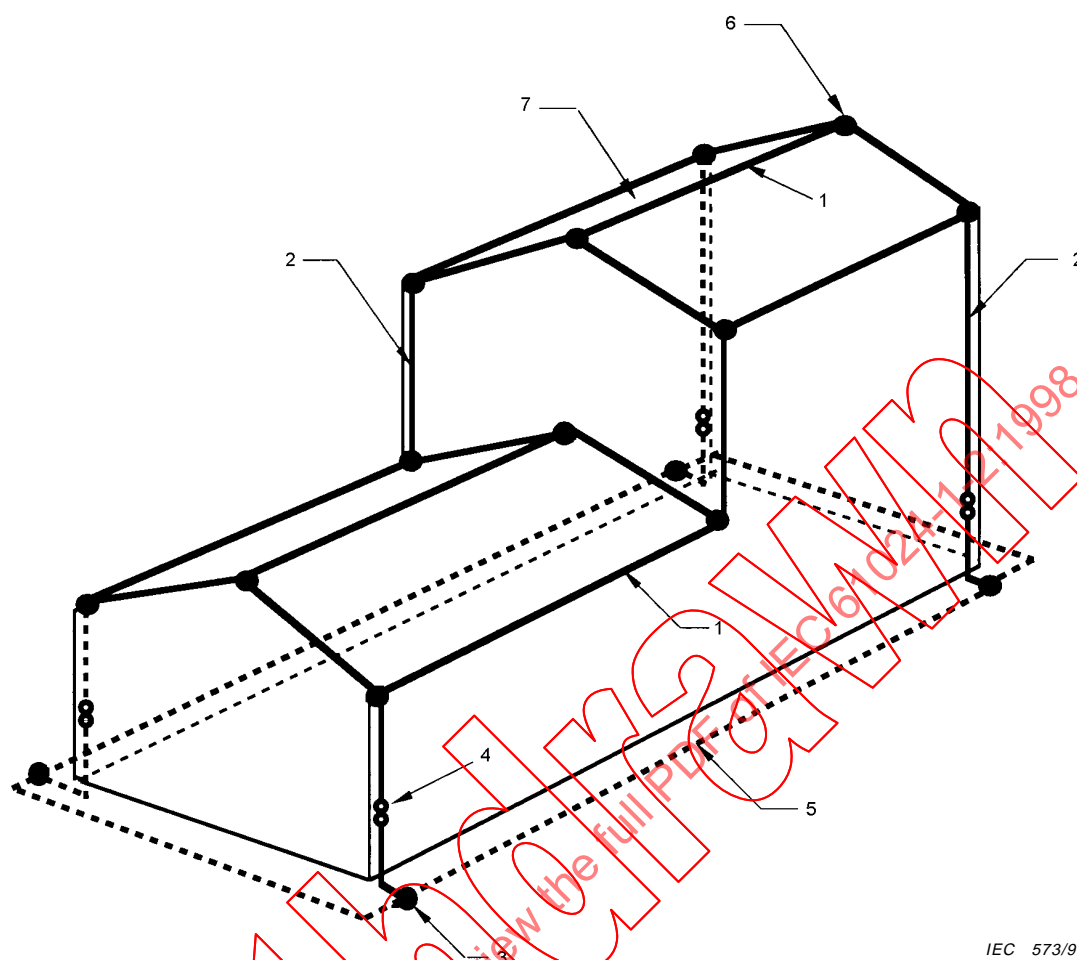


IEC 573/98

- 1 Conducteur horizontal de capture
- 2 Conducteur de descente
- 3 Borne type T, résistante à la corrosion
- 4 Borne d'essai
- 5 Prise de terre. Disposition B, électrode de terre en boucle
- 6 Borne T sur une arête du toit
- 7 Taille de maille

NOTE – La distance entre les conducteurs de descente doit être conforme à 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3 et au tableau 3 de la CEI 61024-1.

Figure 41 – Installation d'une IFP extérieure sur une structure isolée avec plusieurs niveaux

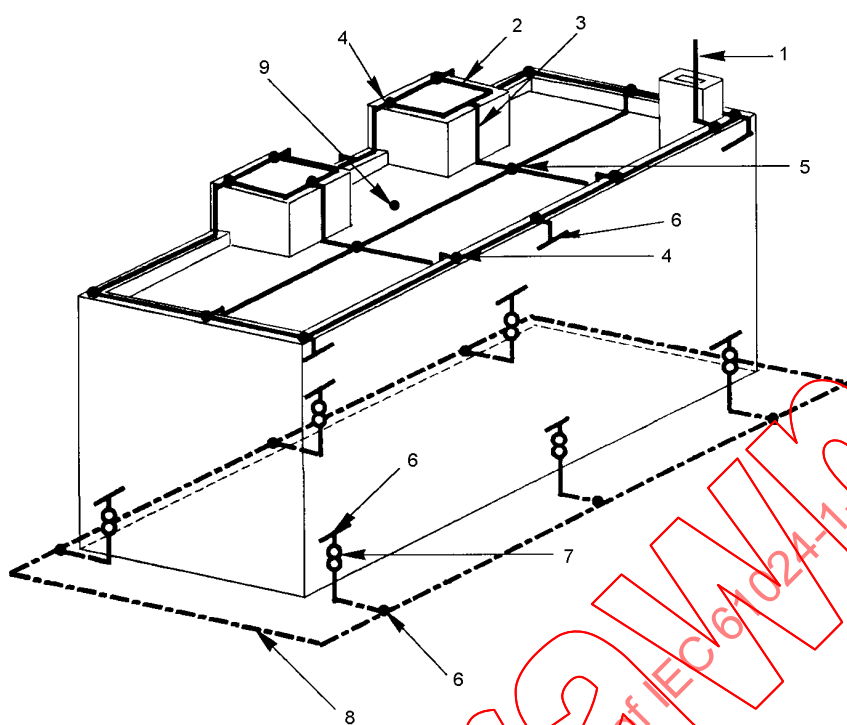


IEC 573/98

- 1 Horizontal air-termination conductor
- 2 Down-conductor
- 3 T-type joint – corrosion resistant
- 4 Test joint
- 5 Earth electrode type B earthing arrangement, ring earth electrode
- 6 T-type joint on the ridge of the roof
- 7 Mesh size

NOTE – The distance between the down-conductors shall comply with 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3 and table 3 of IEC 61024-1.

Figure 41 – Construction of external LPS on a structure of isolating material with different roof levels

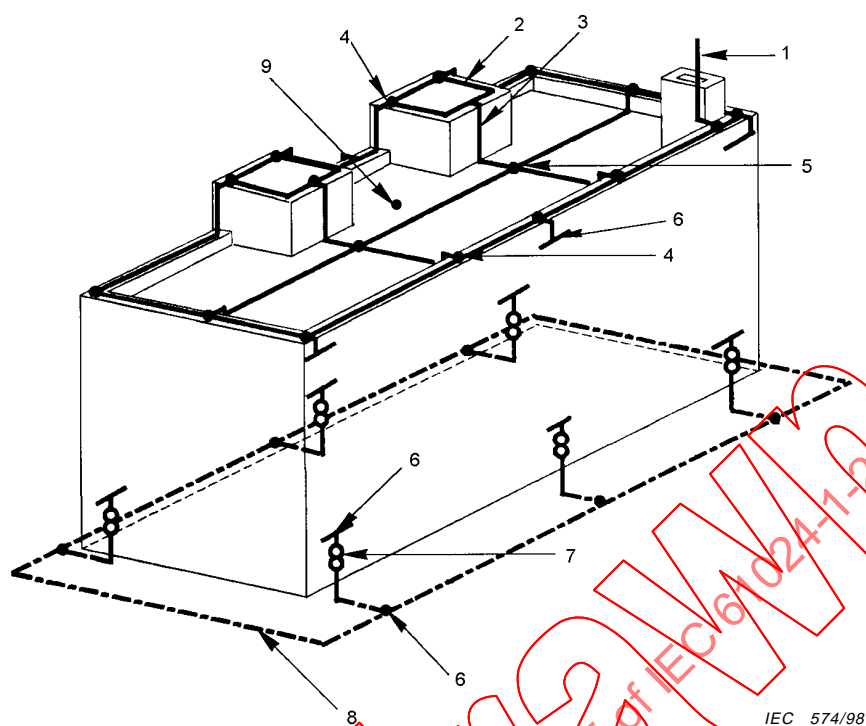


IEC 574/98

- 1 Tige de capture
- 2 Conducteur horizontal de capture
- 3 Conducteur de descente
- 4 Borne type T
- 5 Borne de croisement
- 6 Connexion soudée aux armatures (voir figures A.6, A.10 et A.12 de l'annexe A)
- 7 Borne d'essai
- 8 Disposition de terre B, électrode en boucle
- 9 Toiture en terrasse avec fixations

NOTE – Les armatures en acier doivent être conformes à 1.3 de la CEI 61024-1. Toutes les dimensions de l'IPF doivent correspondre au niveau de protection choisi.

Figure 42 – Installation d'une IFP extérieure sur une structure en béton armé utilisant les parois extérieures comme composants naturels

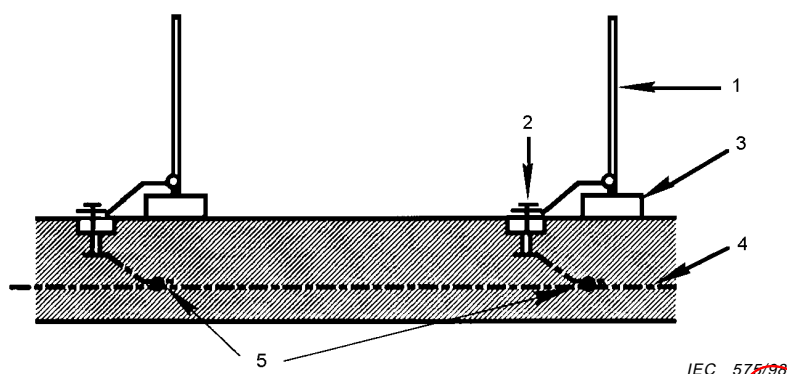


IEC 574/98

- 1 Air-termination rod
- 2 Horizontal air-termination conductor
- 3 Down-conductor
- 4 T-type joint
- 5 Cross type joint
- 6 Connection to the steel reinforcing rods (see annex A, figures A.6, A.10 and A.12)
- 7 Test joint
- 8 Earth electrode, type B earthing arrangement, ring earth electrode
- 9 Flat roof with roof fixtures

NOTE – The steel reinforcement of the structure shall comply with 1.3 of IEC 61024-1. All dimensions of the LPS shall comply with the selected protection level.

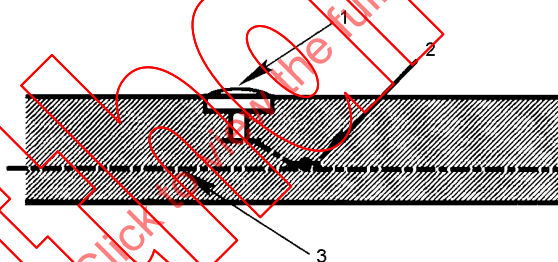
Figure 42 – Construction of an external LPS on a structure of steel-reinforced concrete using the reinforcement of the structure outer walls as natural components



IEC 575/98

- 1 Tige de capture
- 2 Ecrou de connexion (voir figures A.2a et A.2d de l'annexe A)
- 3 Fixation de tige de capture généralement en matériau isolant ou en béton
- 4 Armature acier du toit en béton
- 5 Barre d'équipotentialité en acier (voir figures A.6 et A.10 de l'annexe A)

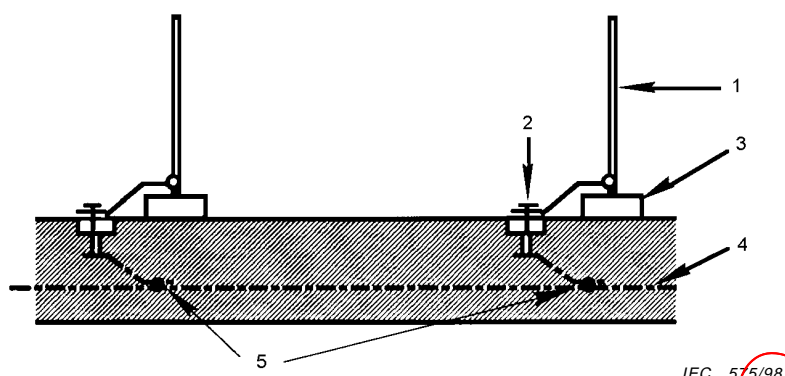
Figure 43 – Installation de tiges de capture sur une toiture en béton armé d'une structure où les impacts de foudre ne sont pas permis



IEC 576/98

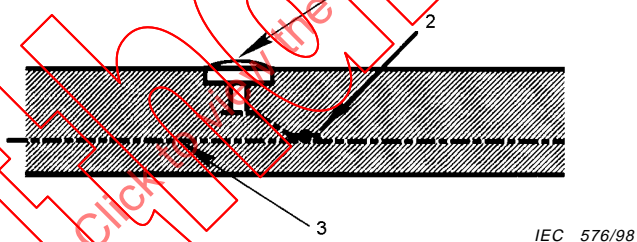
- 1 Goujon de capture (voir figure A.2b de l'annexe A)
- 2 Barre d'équipotentialité en acier (voir figures A.6 et A.10 de l'annexe A)
- 3 Armature acier dans le béton

Figure 44 – Installation d'un goujon de capture sur le dernier étage d'un garage multi-étages



- 1 Air-termination rod
- 2 Bonding bolt (see figure A.2a and A.2d)
- 3 Air-termination rod roof fixture usually made of insulating material or concrete
- 4 Steel reinforcement in the concrete roof
- 5 Steel bonding bar (see annex A, figures A.6 and A.10)

Figure 43 – Construction of air-termination rods on the roof of a steel-reinforced concrete structure where direct strikes into the reinforcement are not allowed



- 1 Air-termination stud (see annex A, figure A.2b)
- 2 Steel bonding bar (see annex A, figures A.6 and A.10)
- 3 Steel reinforcement in concrete

Figure 44 – Construction of an air-termination stud on the top floor of a multi-storey car park

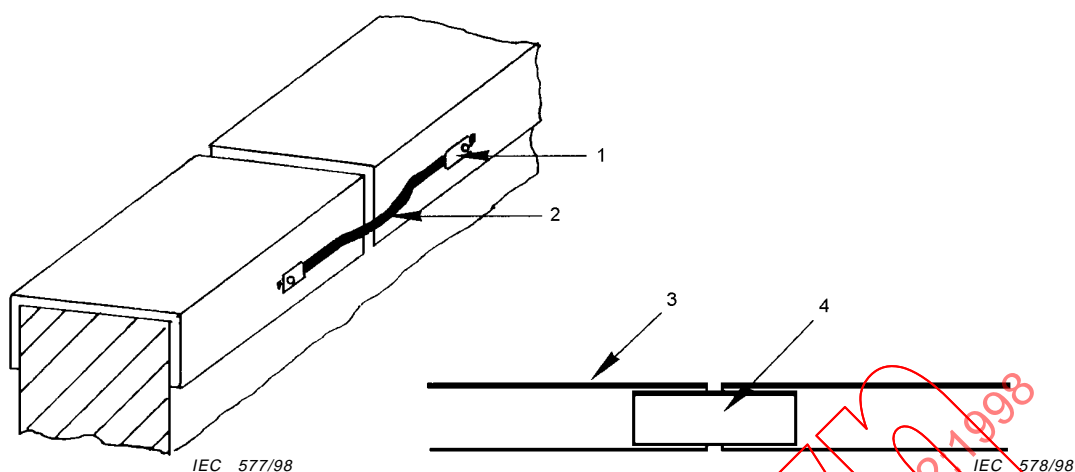


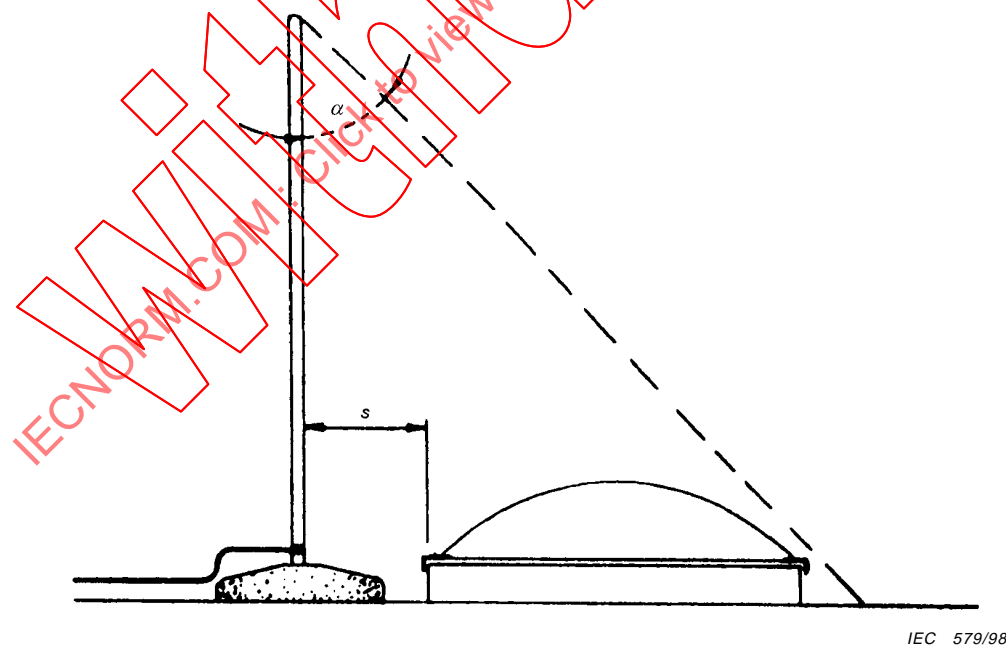
Figure 45a – Exécution A

Figure 45b – Exécution B

- 1 Borne anti-corrosive
- 2 Conducteur souple
- 3 Revêtement métallique du parapet
- 4 Recouvrement entre panneaux, variante 2 (voir 2.2.5 d) de la CEI 61024-1)

NOTE – Il convient de porter une attention particulière sur le choix des matériaux pour le pontage afin d'éviter la corrosion.

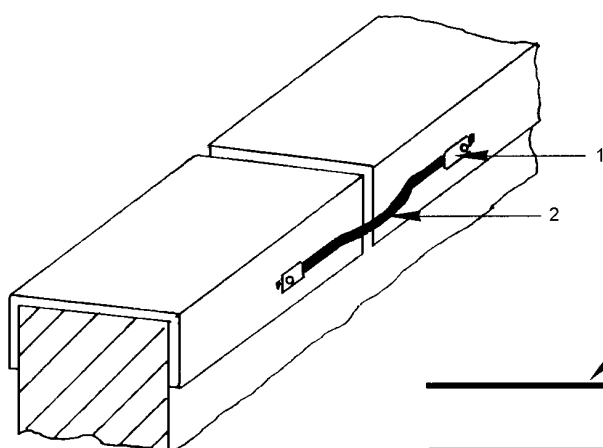
Figure 45 – Deux exécutions possibles de jonction d'un revêtement métallique d'un parapet par pontage



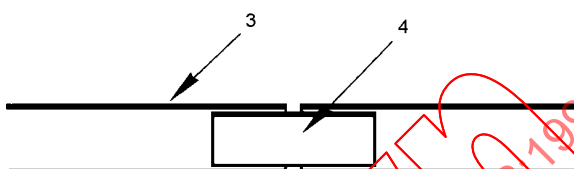
- s Distance de séparation
- α Angle de protection, voir le tableau 1 de la CEI 61024-1

NOTE – La distance de séparation s doit être supérieure à la distance de sécurité d selon 3.2 de la CEI 61024-1.

Figure 46 – Tige de capture pour la protection d'une fixation de toit conforme au niveau de protection choisi



IEC 577/98

Figure 45a – Execution A

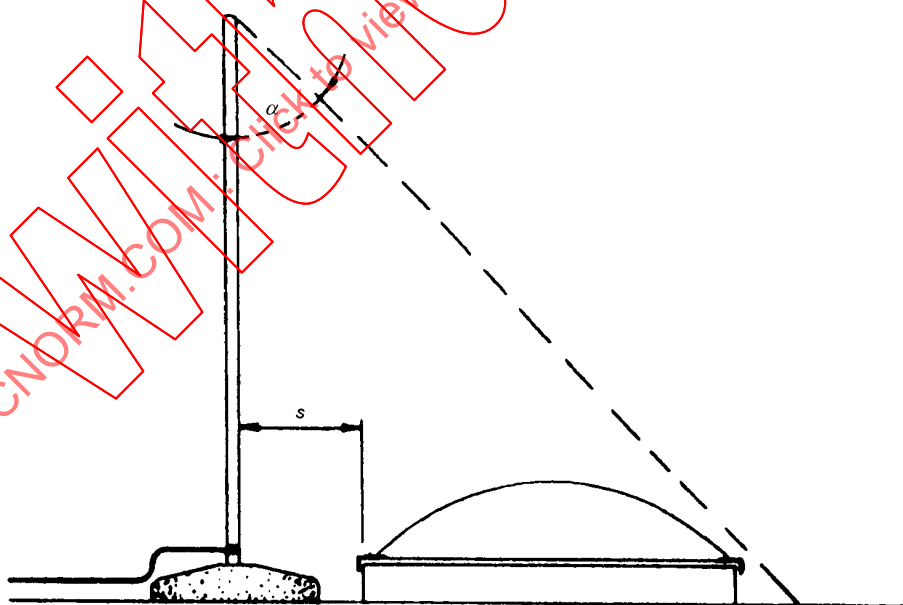
IEC 578/98

Figure 45b – Execution B

- 1 Corrosion-resistant joint
- 2 Flexible conductor
- 3 Metallic covering of the parapet
- 4 Overlap joint between plates; alternative to 2 (see 2.2.5 d) of IEC 61024-1)

NOTE – Special attention should be paid to proper selection of materials and good design of joints and bridging conductors to avoid corrosion.

Figure 45 – Two possible executions of a joint on a metallic covering on a roof parapet bridging the expansion clip of the plate segments



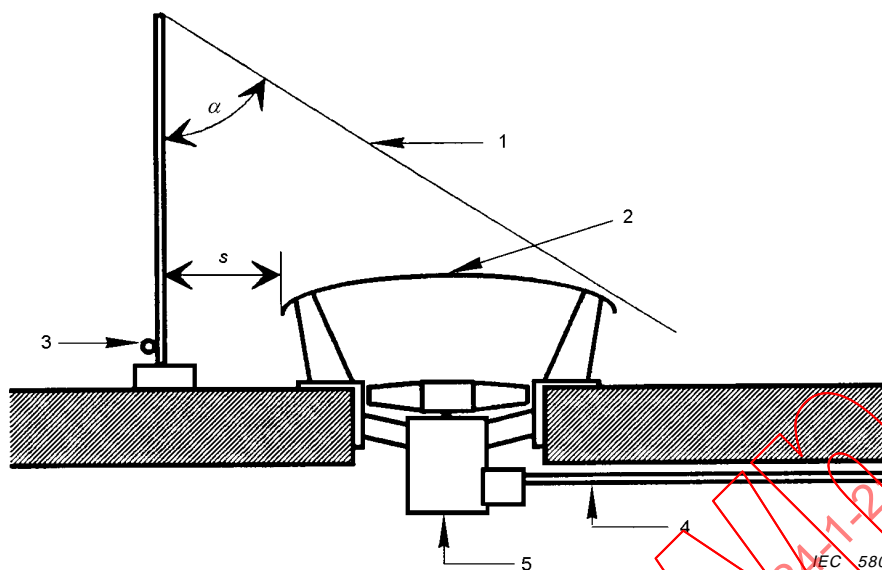
IEC 579/98

s separation distance

α Protective angle, see table 1 of IEC 61024-1

NOTE – The separation distance s should be larger than the safety distance d , according to 3.2 of IEC 61024-1

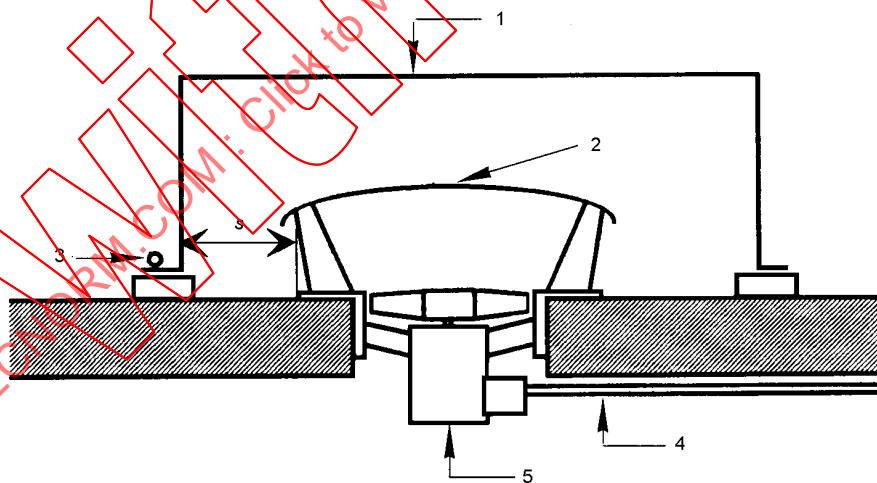
Figure 46 – Air-termination rod on a concrete base for protection of a roof fixture according to the selected protection level



- 1 Cône de protection
- 2 Fixation métallique de toiture
- 3 Conducteur horizontal de capture
- 4 Canalisations électriques, de préférence sous un écran conducteur
- 5 Matériel électrique
- s Distance de séparation conforme à 3.2 de la CEI 61024-1
- α Angle de protection conforme au tableau 1 de la CEI 61024-1

NOTE – La hauteur de la tige de capture doit satisfaire au tableau 1 de la CEI 61024-1.

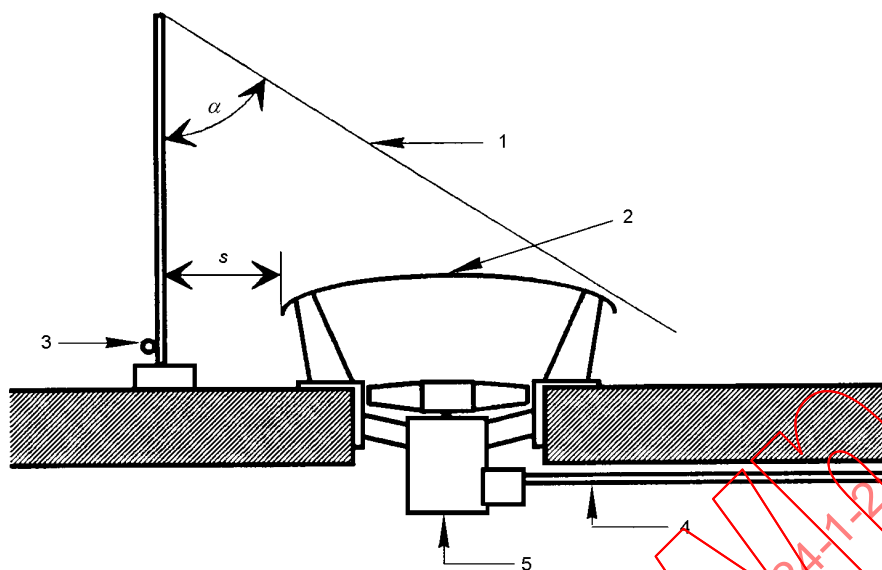
Figure 47 – Tige de capture utilisée pour la protection d'une fixation métallique de toiture comportant des installations électriques non reliées à l'équipotentialité du dispositif de capture



- 1 Conducteur de capture
- 2 Enveloppe isolante
- 3 Conducteur horizontal de capture
- 4 Canalisations électriques, de préférence sous un écran conducteur
- 5 Matériel électrique
- s Distance de séparation conforme à 3.2 de la EI 61024-1

NOTE – Cette disposition est recommandée en schéma TN-S.

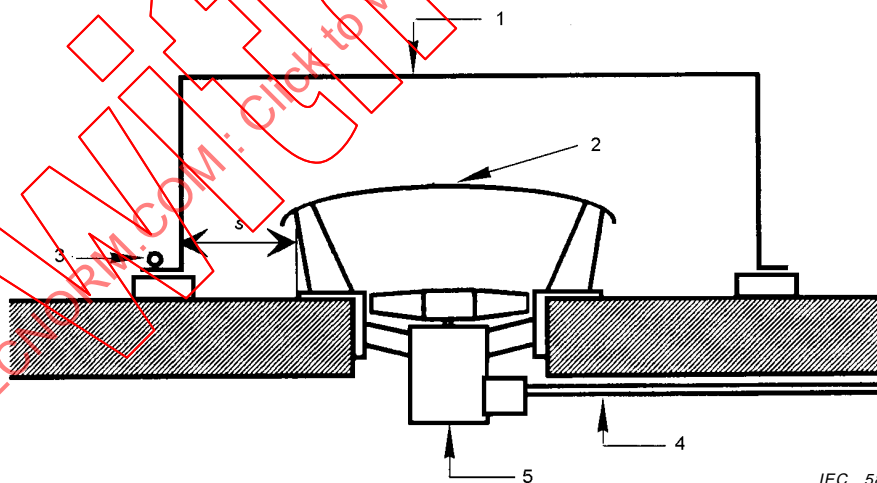
Figure 48 – Installation d'une équerre de capture pour la protection d'une fixation isolante de toiture comportant des matériels électriques



- 1 Protective cone
- 2 Metallic roof fixture
- 3 Horizontal air-termination conductor
- 4 Electric power installation line, preferably enclosed in a conductive shield
- 5 Electric equipment
- s Separation distance according to 3.2 of IEC 61024-1
- α Protective angle according to table 1 of IEC 61024-1

NOTE – The height of the air-termination rod shall comply with table 1 of IEC 61024-1.

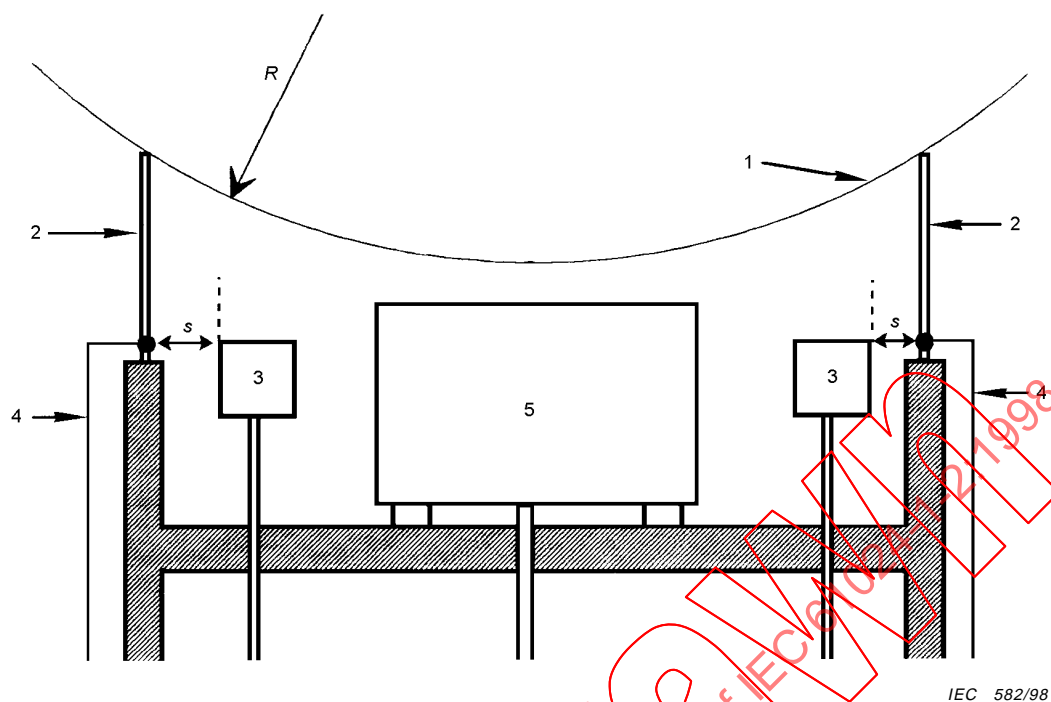
Figure 47 – Air-termination rod used for protection of a metallic roof fixture with electric power installations which are not bonded to the air-termination system



- 1 Air-termination conductor
- 2 Insulating material cover
- 3 Horizontal air-termination conductor
- 4 Electric power conductor, preferably enclosed in a conductive shield
- 5 Electric equipment
- s Separation distance according to 3.2 of IEC 61024-1

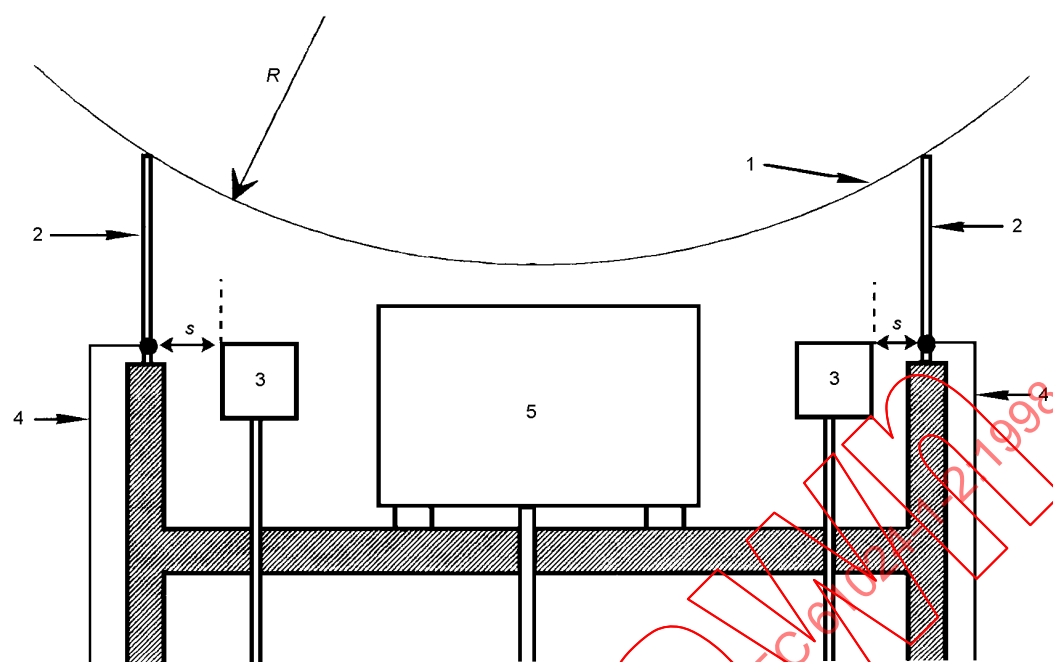
NOTE – The design is recommended for use in TN-S electric power installations.

Figure 48 – Construction of an air-termination bracket for protection of electric equipment enclosed under an insulated cover supported by a metallic fixture



- 1 Sphère fictive
- 2 Tige de capture
- 3 Matériel électrique
- 4 Conducteur de descente
- 5 Citerne métallique
- R Rayon de la sphère fictive, voir tableau 1 de la CEI 61024-1
- s Distance de séparation conforme à 3.2 de la CEI 61024-1

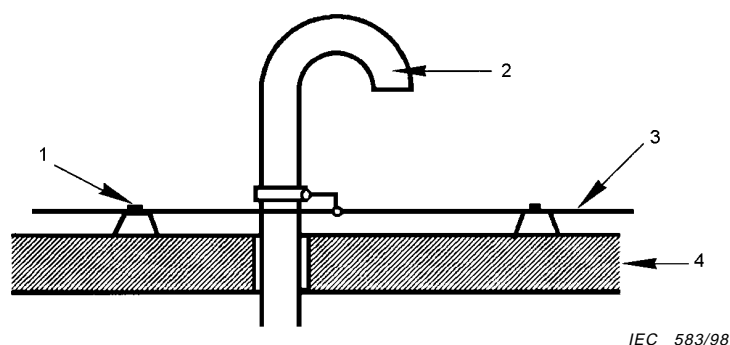
Figure 49 – Installation d'un système de protection d'un équipement métallique de toiture contre les impacts directs



IEC 582/98

- 1 Rolling sphere
- 2 Air-termination rod
- 3 Electric equipment
- 4 Down-conductor
- 5 Metallic vessel
- R Radius of the rolling sphere, see table 1 of IEC 61024-1
- s Separation distance according to 3.2 of IEC 61024-1

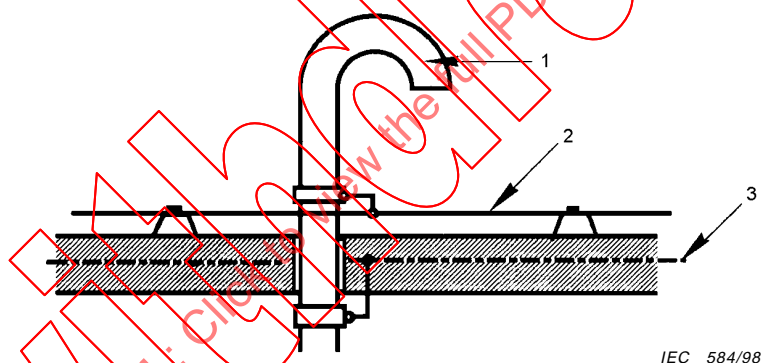
Figure 49 – Construction of lightning protection of metallic equipment of a roof against a direct lightning interception



- 1 Fixation d'un conducteur de capture
- 2 Canalisation métallique
- 3 Conducteur de toiture – conducteur de capture horizontal ou vertical
- 4 Toiture en matériau isolant

NOTE – Les fils de connexion et les bornes doivent supporter le plein courant de foudre et satisfaire au tableau 6 de la CEI 61024-1. La canalisation métallique doit être conforme à 2.1.4 et au tableau 5 de la CEI 61024-1.

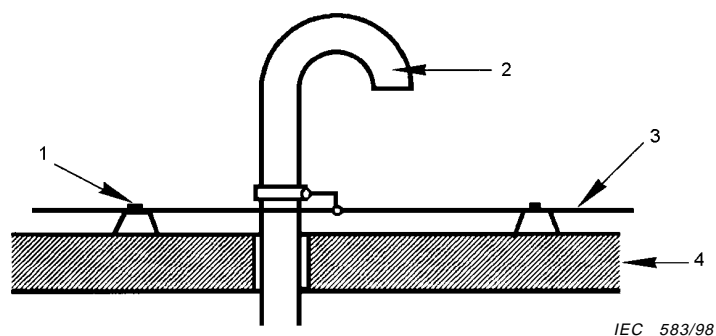
Figure 50 – Connexion d'une tige naturelle de capture aux conducteurs de capture sur un toit isolant



- 1 Canalisation métallique
- 2 Conducteur de toiture – conducteur de capture horizontal
- 3 Armature en acier dans le béton

NOTE – La canalisation en acier doit être conforme à 2.1.4 de la CEI 61024-1, le conducteur d'équipotentialité au tableau 6 de la CEI 61024-1 et l'armature à 1.3 de la CEI 61024-1. Les liaisons doivent être étanches.

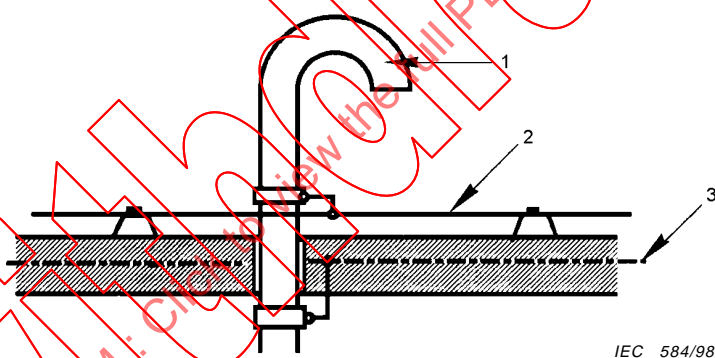
Figure 51 – Connexion d'une tige naturelle de capture aux conducteurs de capture et à l'équipotentialité de la structure et ici à l'armature de la structure en béton armé



- 1 Air-termination conductor holding fixture
- 2 Metallic pipe
- 3 Roof-conductor – horizontal air-termination conductor
- 4 Roof of insulating material

NOTE – The connecting wire and the joints shall withstand the full lightning current and shall comply with table 6 of IEC 61024-1. The steel pipe shall comply with 2.1.4 and table 5 of IEC 61024-1.

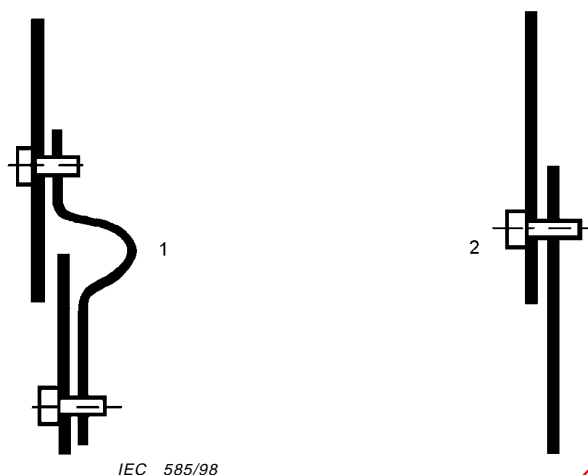
Figure 50 – Connection of a natural air-termination rod to air-termination conductors on a roof of insulating material



- 1 Metallic pipe
- 2 Roof conductor – horizontal air-termination conductor
- 3 Steel reinforcement in concrete

NOTE – The steel pipe shall comply with 2.1.4 of IEC 61024-1, the bonding conductor shall comply with table 6 of IEC 61024-1 and the reinforcement shall comply with 1.3 of IEC 61024-1. The roof bonding should be watertight.

Figure 51 – Connection of a natural air-termination rod to air-termination conductors and to the equipotential bonding system of the structure, in this particular case, to the reinforcement of the reinforced concrete structure

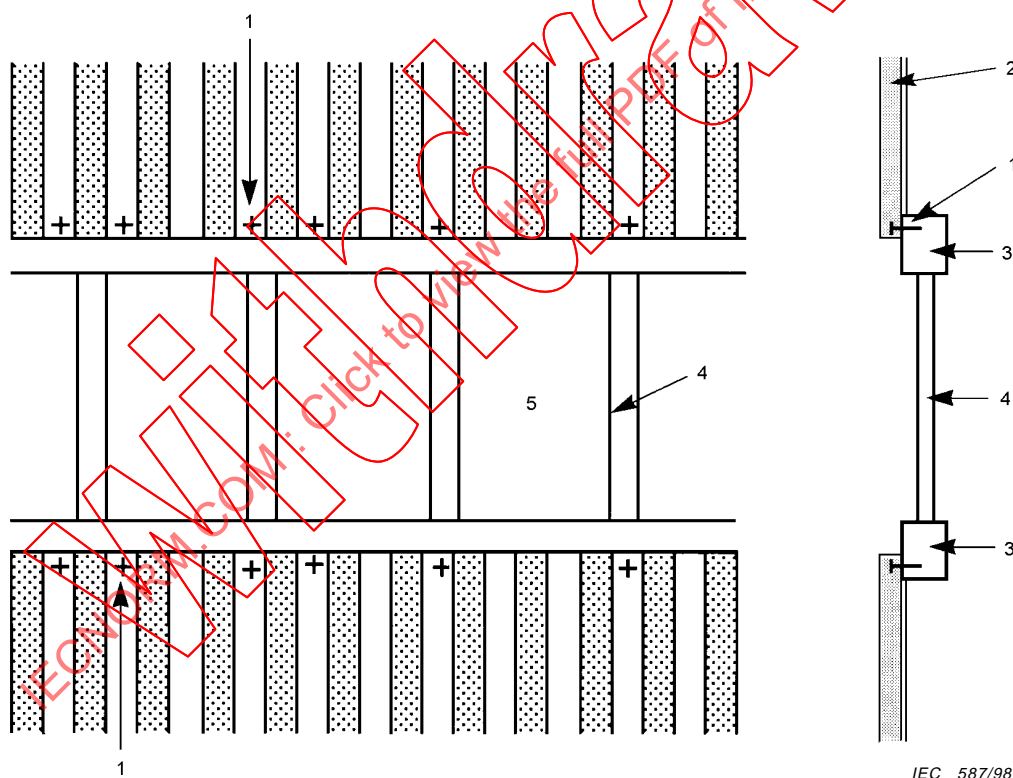


1 Pontage métallique souple

2 Pontage par vis autobloquante

NOTE – Un pontage électriquement conducteur améliore entre autres la protection contre l'EMF. Des informations plus détaillées figurent dans la CEI 61312-1.

Figure 52 – Réalisation d'un pontage entre dalles métalliques de façade



- 1 Connexion entre panneau de façade et bande métallique
- 2 Panneau métallique de façade
- 3 Bandeau métallique horizontal
- 4 Bandeau métallique vertical
- 5 Fenêtre

Figure 53 – Connexion du bandeau continu de baies vitrées à un revêtement métallique de façade

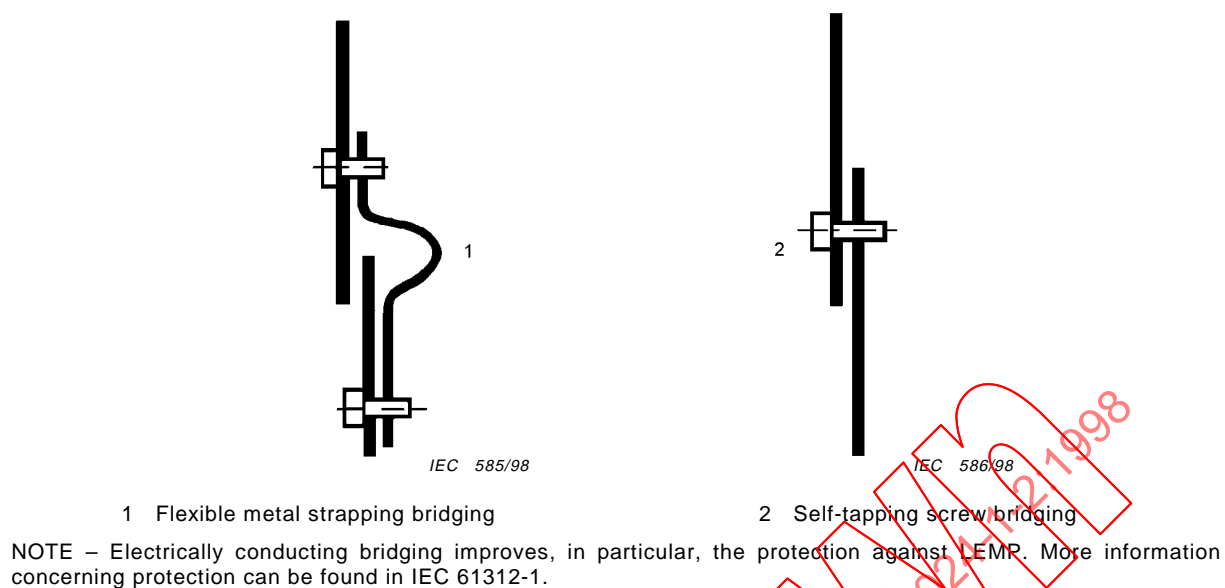


Figure 52 – Construction of the bridging between the segments of the metallic façade plates

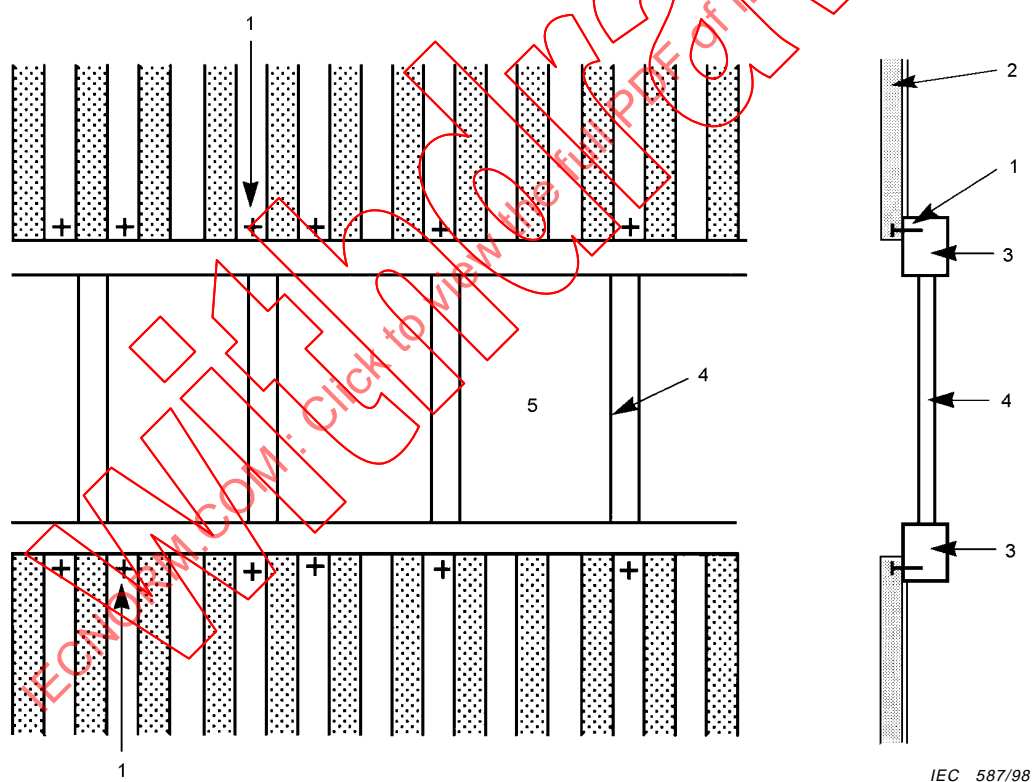
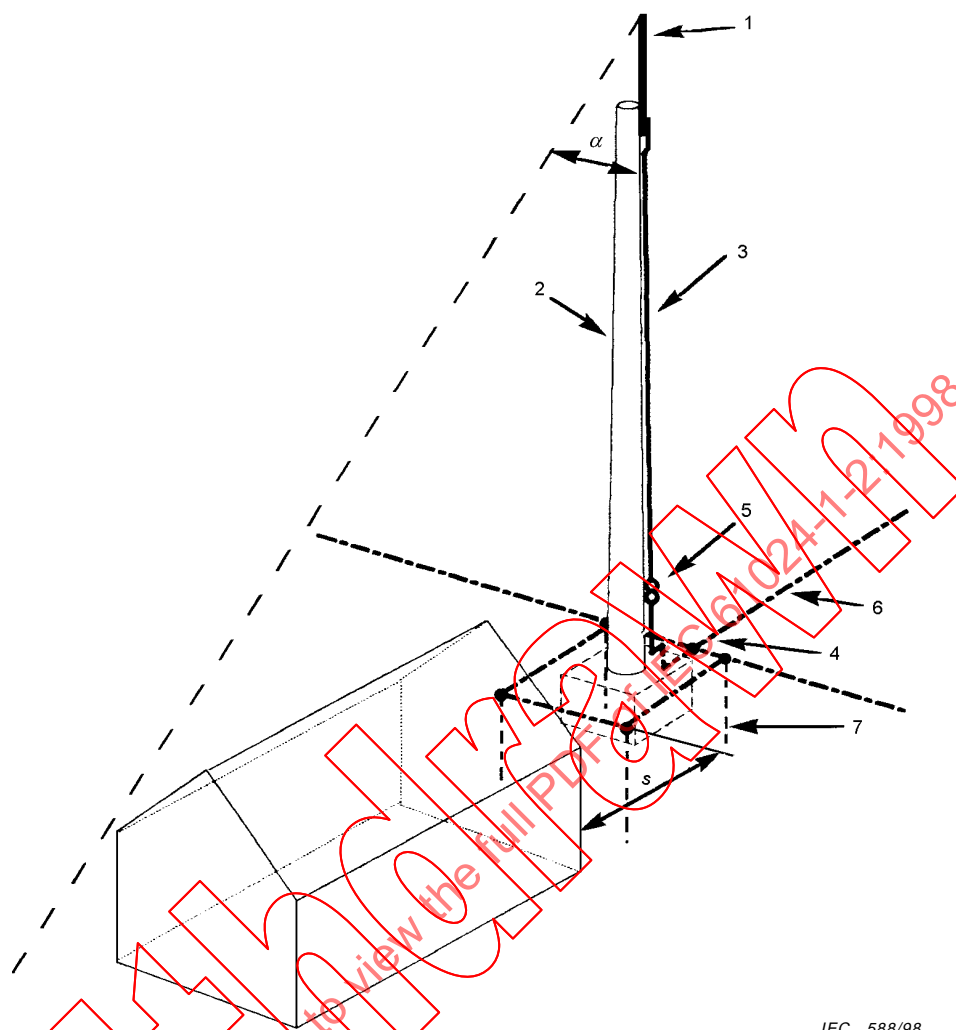


Figure 53 – Connection of the continuous strip windows to a metal façade covering

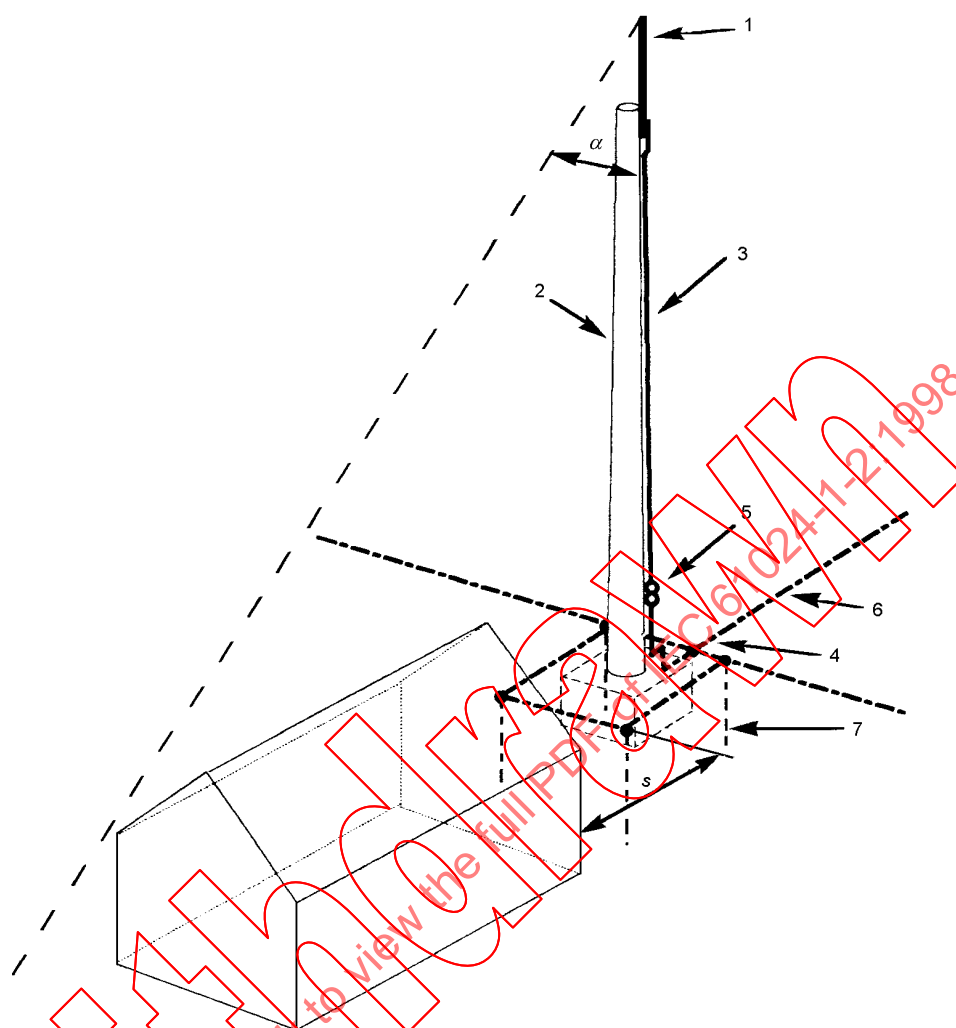


IEC 588/98

- 1 Dispositif de capture
- 2 Mât du dispositif de capture
- 3 Conducteur de descente
- 4 Borne T résistante à la corrosion
- 5 Borne d'essai
- 6 Electrode de terre, disposition A, électrode de terre radiale
- 7 Electrode de terre verticale, si applicable
- s Distance de séparation
- α Angle de protection

NOTE – La distance de séparation s entre la structure et le dispositif de capture dépasse la distance de sécurité conforme à 3.2 de la CEI 61024-1 et la distance dans le sol entre les parties conductrices et la prise de terre dépasse la distance D donné en 3.3.4 de la présente norme.

Figure 54 – Installation d'une IFP isolée extérieure pour une structure sans services extérieurs

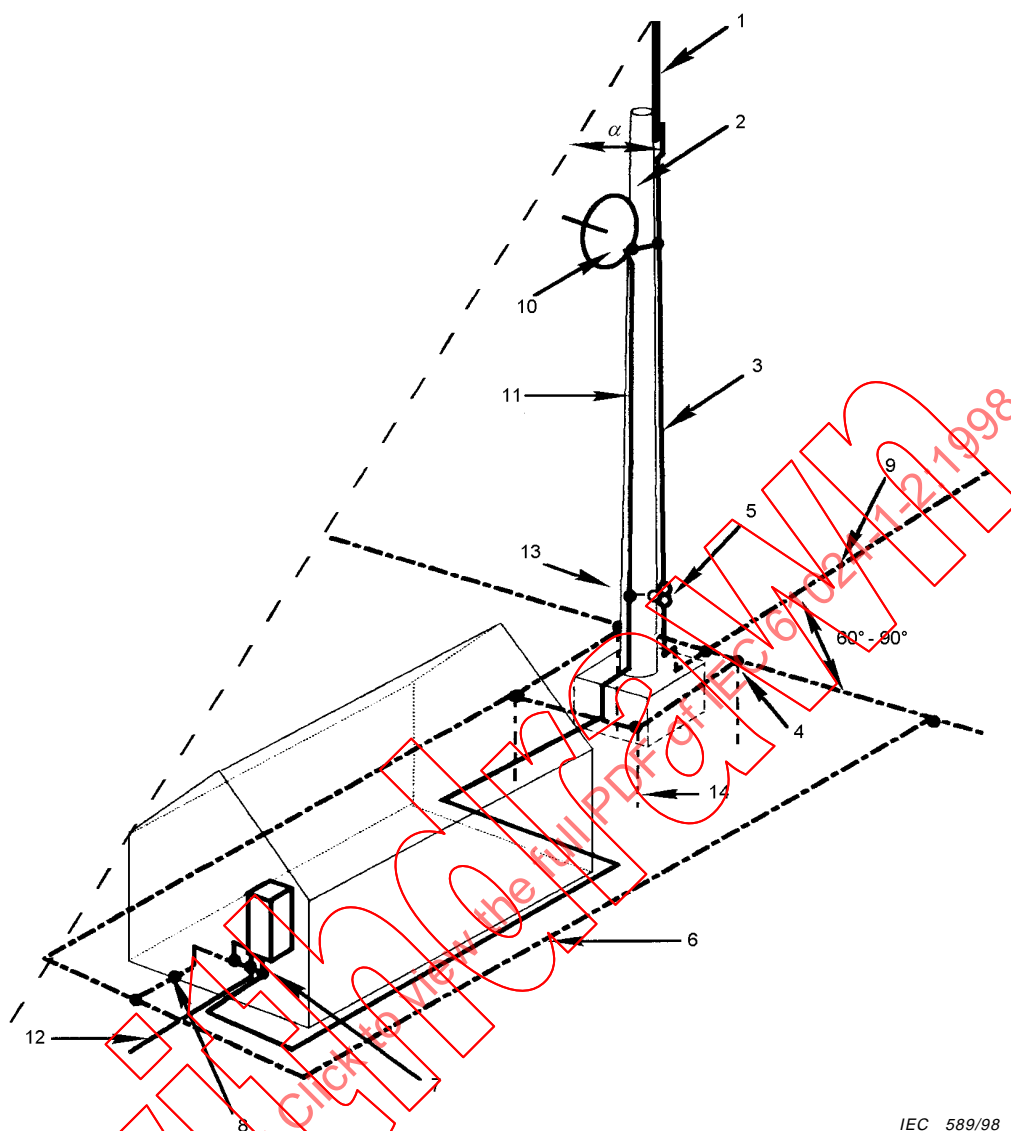


IEC 588/98

- 1 Air termination
- 2 Air-termination mast
- 3 Down-conductor
- 4 Corrosion-resistant T-type joint
- 5 Test joint
- 6 Earth electrode, type A earthing arrangement, radial earth electrode
- 7 Vertical earth electrode, if applicable
- s Separation distance
- α Protective angle

NOTE – The separation distance s between the structure and the air-termination exceeds the safety distance according to 3.2 of IEC 61024-1 and the distance in soil between the conductive parts of the structure and the earth-termination system exceeds the distance D according to 3.3.4 of this guide.

Figure 54 – Isolated external LPS for a structure without external service lines



IEC 589/98

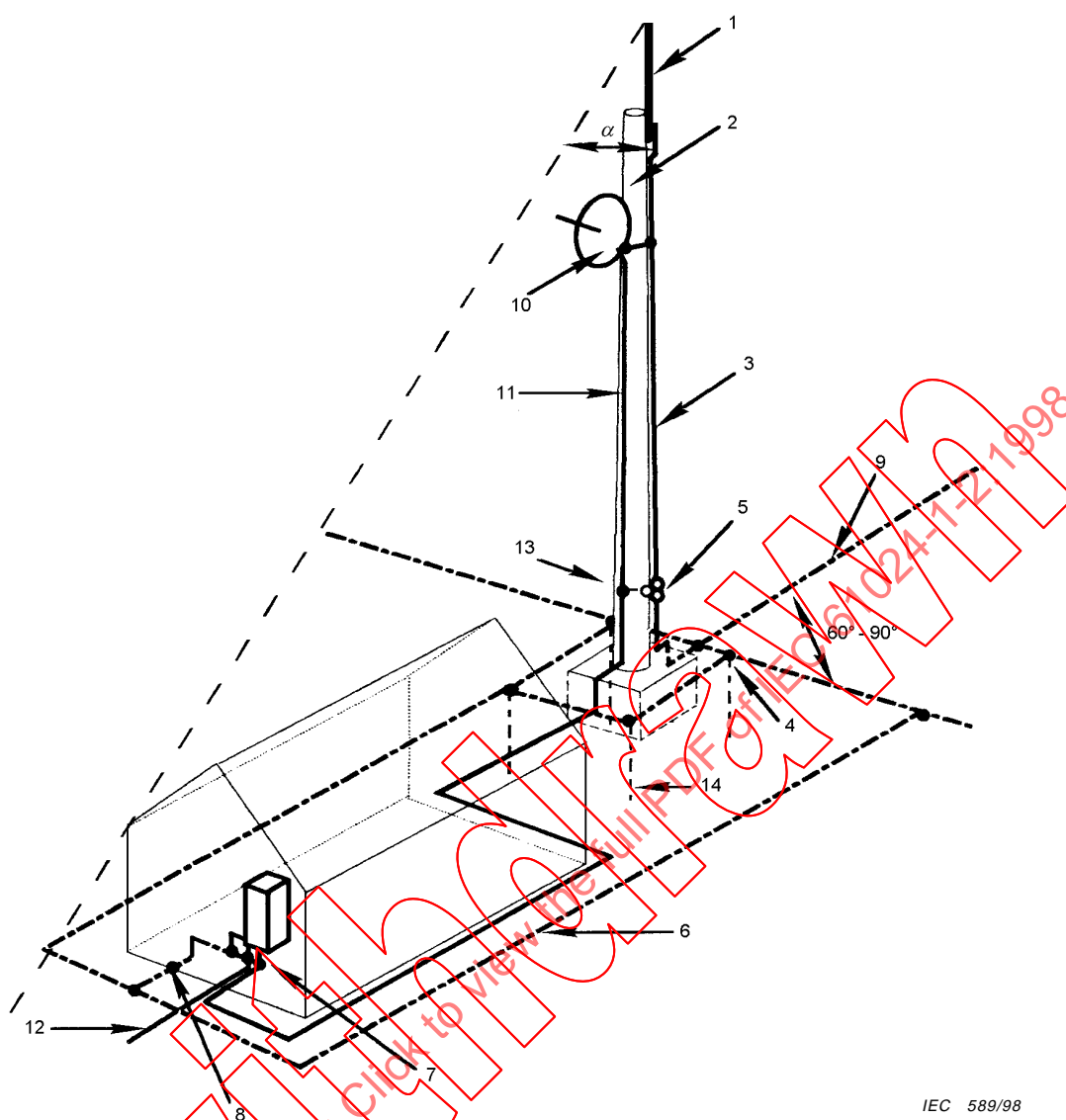
- 1 Dispositif de capture
- 2 Mât de dispositif de capture
- 3 Conducteur de descente
- 4 Borne T anticorrosion
- 5 Borne d'essai
- 6 Prise de terre disposition B et boucle à fond de fouille
- 7 Barre d'équipotentialité
- 8 Conducteur de connexion à l'armature et à la terre
- 9 Prise de terre disposition A – électrode de terre radiale
- 10 Antenne
- 11 Câble d'antenne
- 12 Câble de communication
- 13 Equipotentialité du blindage du câble
- 14 Electrode verticale, si applicable

α Angle de protection conforme au tableau 1 de la CEI 61024-1

NOTE 1 – Conserver une boucle étroite entre le conducteur de descente et l'antenne.

NOTE 2 – La prise de terre est reliée aux parties conductrices selon 3.1.2 de la CEI 61024-1, et à la disposition de terre B de la structure.

Figure 55 – Installation d'une IFP isolée extérieure pour une structure avec services extérieurs et canalisations métalliques



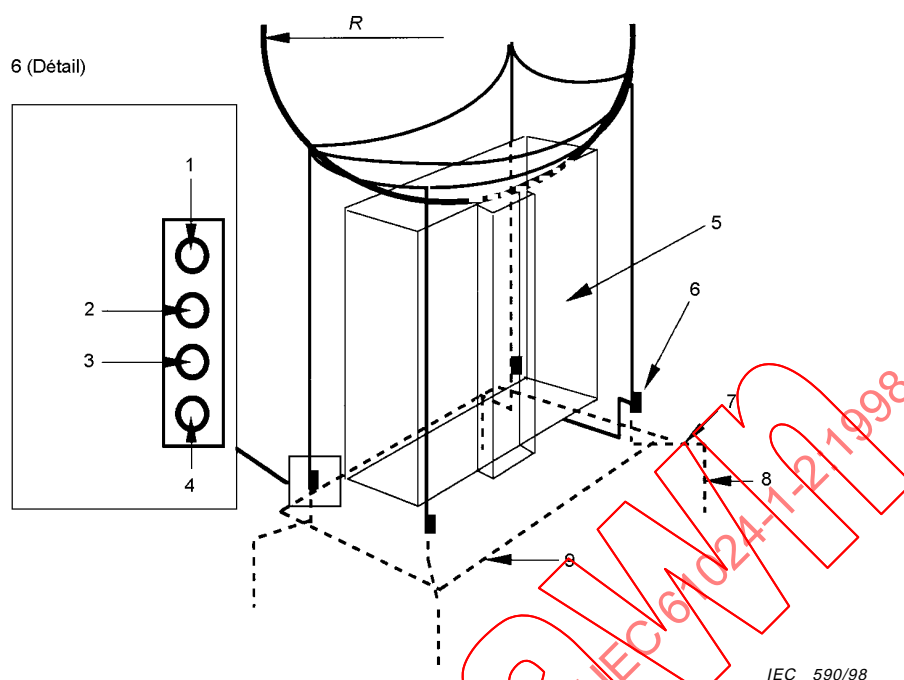
IEC 589/98

- 1 Air termination
- 2 Air-termination mast
- 3 Down-conductor
- 4 Corrosion-resistant T-type joint
- 5 Test joint
- 6 Earth electrode, type B earthing-arrangement, ring earth electrode and foundation earth electrode
- 7 Equipotentialization bar
- 8 Bonding conductor to the steel reinforcement, foundation earth electrode
- 9 Type A earthing arrangement – radial earth electrodes
- 10 Antenna
- 11 Antenna cable
- 12 Communication cable
- 13 Bonding of cable shield
- 14 Vertical earth electrode, if applicable
- α Protective angle, table 1 of IEC 61024-1

NOTE 1 – The loop area between the down-conductor and the antenna cable should be kept small.

NOTE 2 – The earth-termination system of the isolated LPS is bonded to the conductive parts of the structure according to 3.1.2 of IEC 61024-1 and to the type B earthing arrangement of the structure.

Figure 55 – Isolated external LPS for a structure with external service lines and metallic installations



IEC 590/98

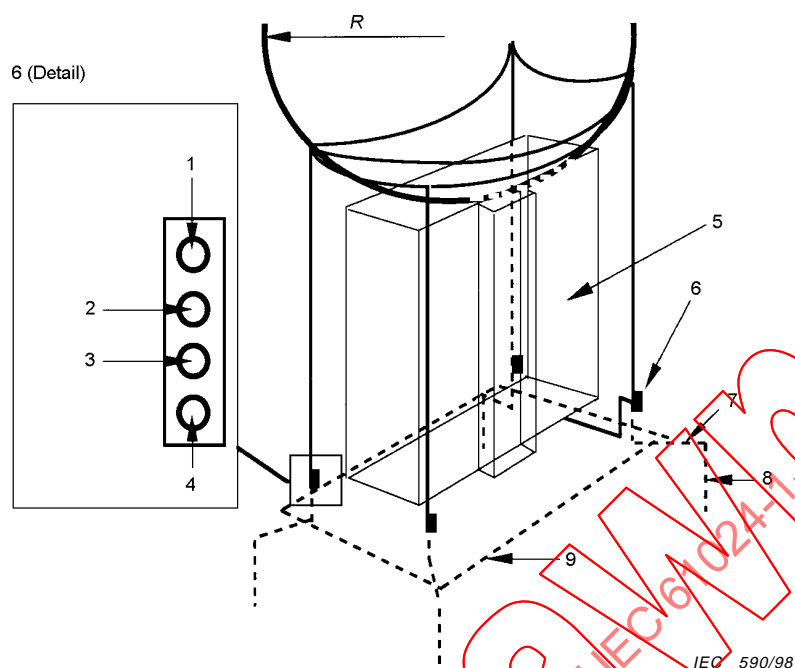
- 1 Borne du conducteur de descente
- 2 Borne de connexion du système intérieur de protection, s'il existe
- 3 Borne de connexion de l'armature en acier, si elle existe
- 4 Borne de connexion de la prise de terre
- 5 Structure en béton armé
- 6 Borne d'essai
- 7 Disposition A, conducteur horizontal de terre
- 8 Disposition A, conducteur vertical de terre
- 9 Disposition B, boucle de terre

R Rayon de la sphère fictive, voir tableau 1 de la CEI 61024-1

NOTE 1 – Toutes les distances de séparation entre le système de protection et la structure doivent être conformes à 3.2 de la CEI 61024-1.

NOTE 2 – Le dispositif de capture est conçu par la méthode de la sphère fictive conforme à 2.1.2 b) de la CEI 61024-1. Des dispositions de terre A et B sont utilisées conformément à 2.3.3.1 et 2.3.3.2 de la CEI 61024-1.

Figure 56 – Système isolé de protection contre la foudre avec mâts et fils de capture tendus entre mâts

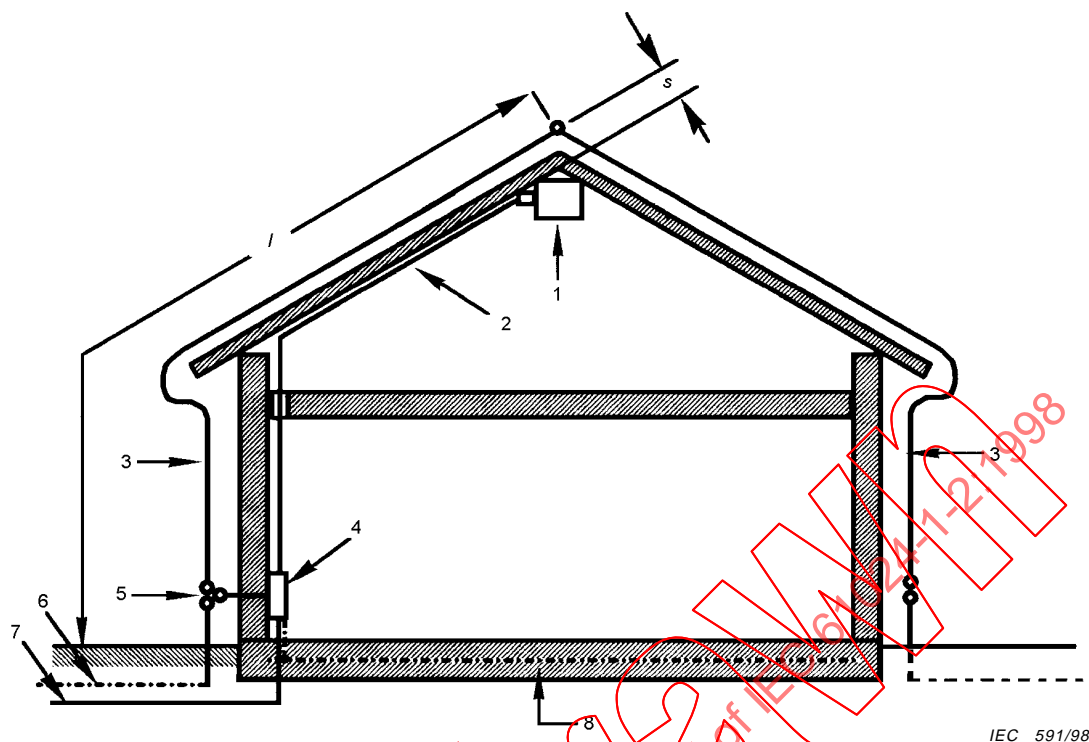


- 1 Down-conductor terminal
- 2 Terminal for connecting the internal LPS when applicable
- 3 Terminal for connecting the steel reinforcing of the structure when applicable
- 4 Terminal for connecting the earth-termination electrode
- 5 Structure of steel-reinforced concrete
- 6 Test joint – detail
- 7 Type A earth electrode, horizontal earth electrode conductor
- 8 Type A earth electrode, vertical earth electrode conductor
- 9 Type B earth electrode, ring earth electrode
- R Radius of the rolling sphere, see table 1 of IEC 61024-1

NOTE 1 – All separation distances between the LPS and the structure should comply with 3.2. of IEC 61024-1.

NOTE 2 – Air-termination is designed using the rolling sphere air-termination design method according to 2.1.2 b) of IEC 61024-1. A combined type B and type A earthing electrode arrangement is used according to 2.3.3.1 and 2.3.3.2 of IEC 61024-1.

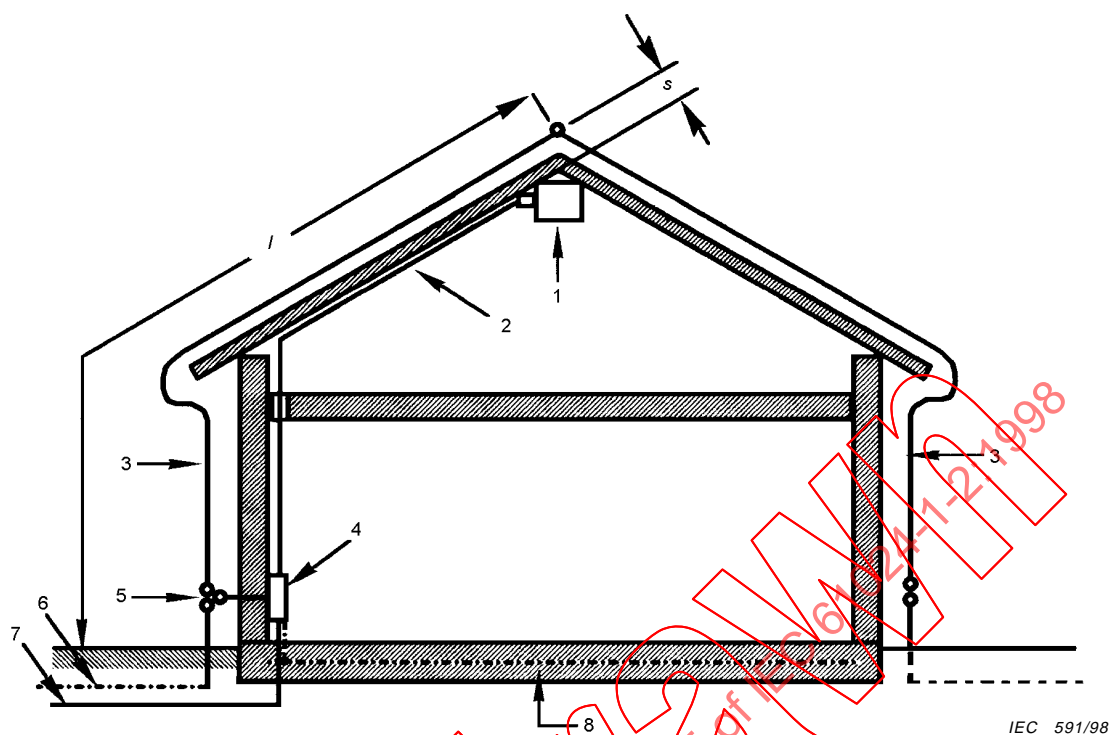
Figure 56 – Isolated LPS of a structure using free standing air-termination masts with overhead air-termination horizontal conductors between masts



- 1 Matériel électrique
- 2 Conducteurs électriques
- 3 Conducteurs de l'IFP
- 4 Tableau de distribution avec parafoudres
- 5 Borne d'essai
- 6 Prise de terre
- 7 Câble de puissance
- 8 Prise de terre à fond de fouille
- l Longueur pour l'évaluation de la distance de sécurité d
- s Distance de séparation, voir 3.2 de la CEI 61024-1

NOTE – Cet exemple illustre le problème causé par l'installation électrique et autres installations dans un grenier.

Figure 57 – Installation d'une IFP avec deux conducteurs de descente et prise de terre à fond de fouille



IEC 591/98

- 1 Electric equipment
- 2 Electric conductors
- 3 LPS conductors
- 4 Main electric power distribution box with SPD
- 5 Test joint
- 6 Earth-termination system
- 7 Electric power cable
- 8 Foundation earth electrode
- s Separation distance, see 3.2 of IEC 61024-1
- l Length for the safety distance d evaluation

NOTE – The example illustrates the problems introduced by electric power or other conductive installations in the attic.

Figure 57 – Construction of an LPS using only two down-conductors and foundation earth electrodes

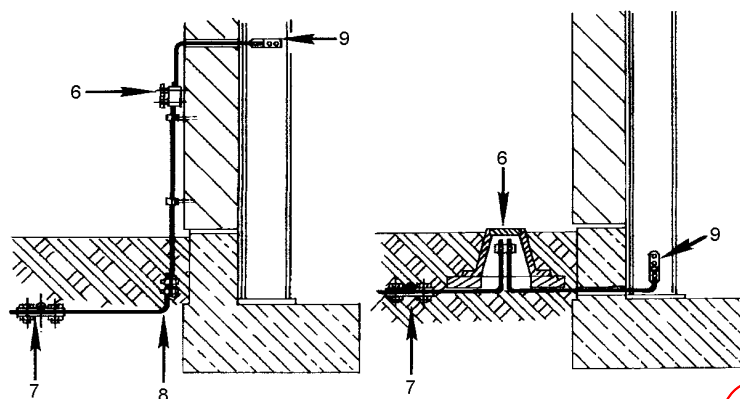


Figure 58 a

Figure 58 b

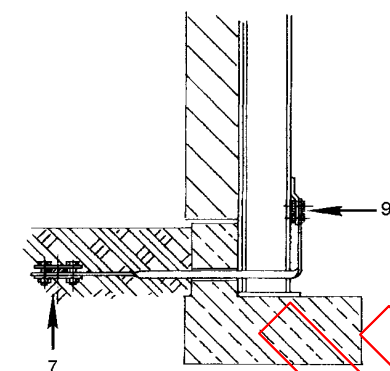


Figure 58 c

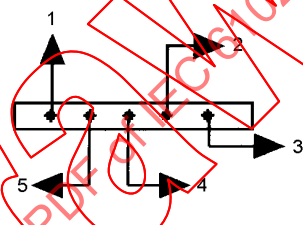


Figure 58 d

IEC 593/98

Variante 1 – Borne d'essai sur le mur

- 1 Conducteur de descente
- 2 Disposition B, électrode de terre, si applicable
- 3 Disposition A, électrode de terre, si applicable
- 4 Prise de terre à fond de fouille
- 5 Equipotentialité intérieure
- 6 Borne d'essai sur le mur
- 7 Borne T anti-corrosive dans le sol
- 8 Borne anti-corrosive dans le sol
- 9 Connexion entre conducteur et poutre acier

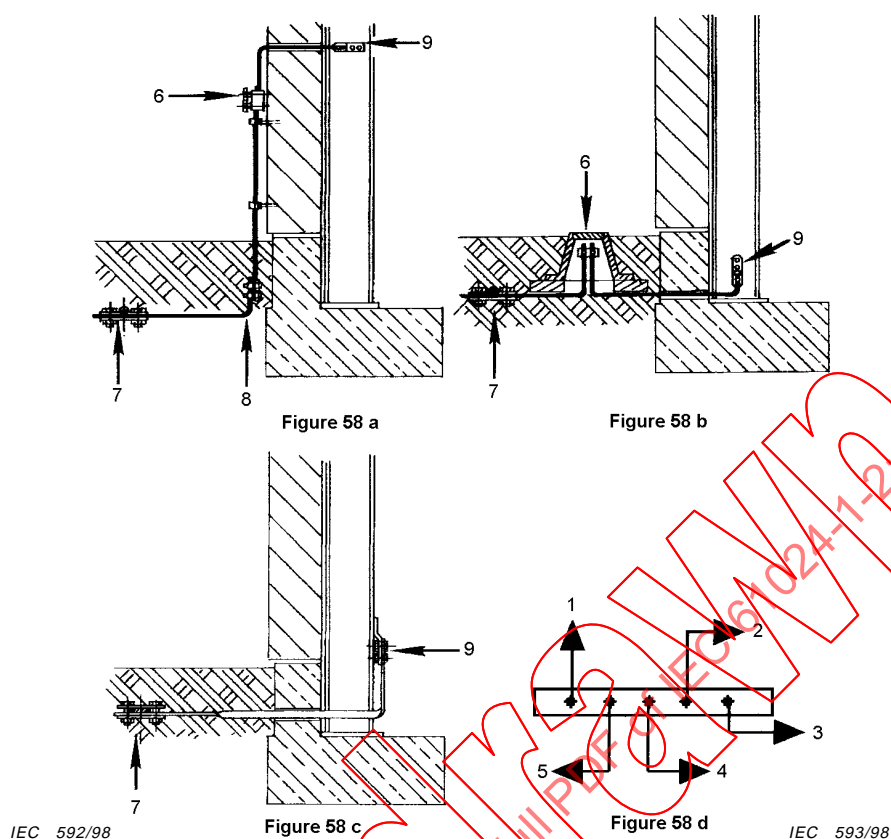
Variante 2 – Borne d'essai dans le plancher

- 1 Conducteur de descente
- 2 Disposition A, électrode de terre, si applicable
- 3 Equipotentialité intérieure
- 4 Disposition B, boucle de terre
- 5 Disposition B, boucle de terre
- 6 Borne d'essai dans le plancher
- 7 Borne T anti-corrosive dans le sol
- 8 Borne anti-corrosive dans le sol
- 9 Connexion entre conducteur et poutre acier

NOTE 1 – Il convient que la borne d'essai détaillée à la figure 58d soit placée sur une paroi intérieure ou extérieure d'une structure, ou enterrée à l'extérieur de la structure.

NOTE 2 – Pour rendre possible la mesure de la prise de terre, des conducteurs doivent être gainés au niveau des sections critiques.

Figure 58 – Exemples de connexion de la prise de terre au système de protection contre la foudre utilisant des conducteurs naturels de descente (armatures) et détail de borne d'essai

**Alternative 1 – Test joint on wall**

- 1 Down-conductor
- 2 Type B earth electrode if applicable
- 3 Type A earth electrode if applicable
- 4 Foundation earth electrode
- 5 Bonding to the internal LPS
- 6 Test joint on the wall
- 7 Corrosion-resistant T-joint in soil
- 8 Corrosion-resistant joint in soil
- 9 Joint between lightning conductor and a steel girder

Alternative 2 – Test joint in the floor

- 1 Down-conductor
- 2 Type A earth electrode if applicable
- 3 Bonding bar of the internal LPS
- 4 Type B – ring earth electrode
- 5 Type B – ring earth electrode
- 6 Test joint in the floor
- 7 Corrosion-resistant T-joint in soil
- 8 Corrosion-resistant joint in soil
- 9 Joint between lightning conductor and a steel girder

NOTE 1 – The test joint detailed in figure 58d should be installed on the inner or outer wall of a structure or in a hole in the earth outside the structure.

NOTE 2 – To make the loop resistance measurements possible some of the connecting conductors shall have insulating sheaths along critical sections.

Figure 58 – Examples of the connection of the earth-termination to the LPS of structures using natural down-conductors (girders) and detail of a test joint

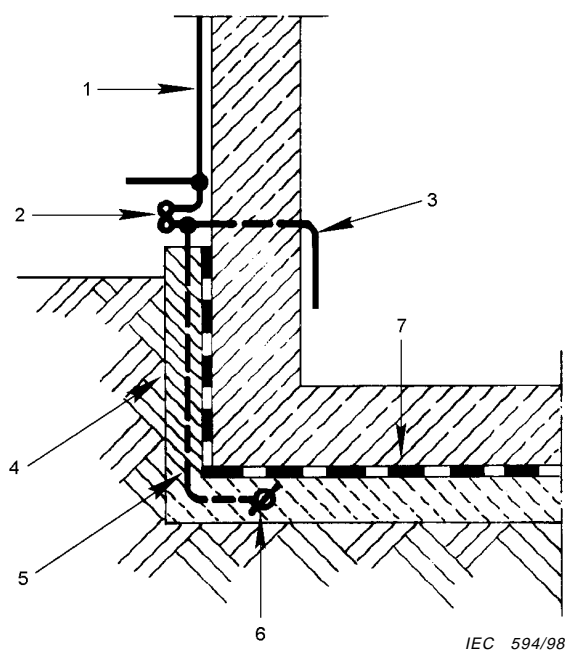


Figure 59a – Fondation isolée avec prise de terre à fond de fouille dans une couche en béton non armé sous l'isolation bitumée

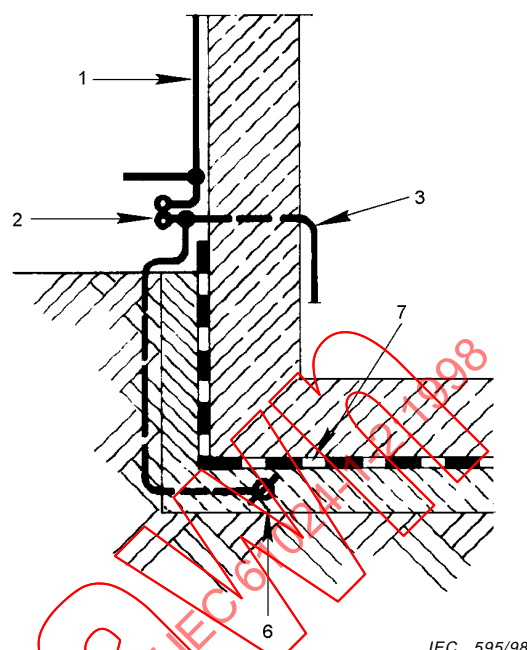


Figure 59b – Fondation isolée avec conducteur de terre partiellement dans le sol

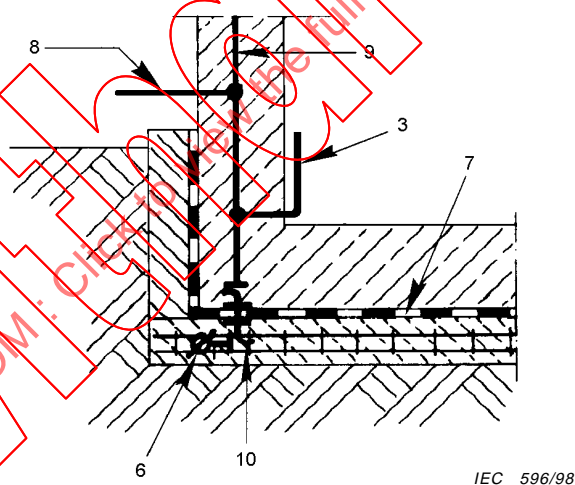
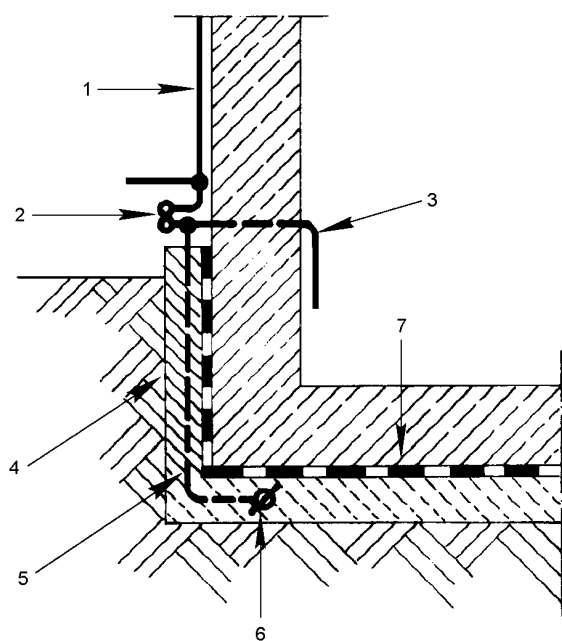


Figure 59c – Conducteur de liaison entre la prise de terre à fond de fouille et la barre d'équipotentialité traversant la couche bitumée isolante

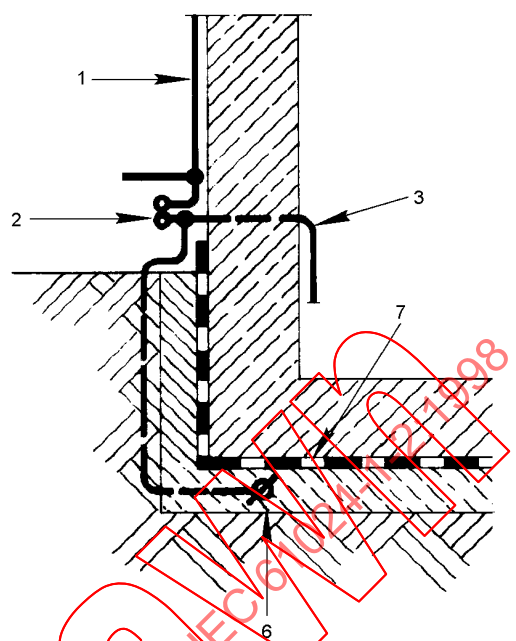
- 1 Conducteur de descente
- 2 Borne d'essai
- 3 Equipotentialité à l'IFP intérieure
- 4 Couche de béton non armé
- 5 Conducteur système
- 6 Prise de terre à fond de fouille
- 7 Isolation bitumée, couche isolante étanche
- 8 Connexion armature/borne d'essai
- 9 Armature acier béton
- 10 Traversée de la couche de bitume étanche

NOTE – Une autorisation du constructeur et nécessaire.

Figure 59 – Réalisation de d'une prise de terre à fond de fouille pour diverses conceptions de fondation



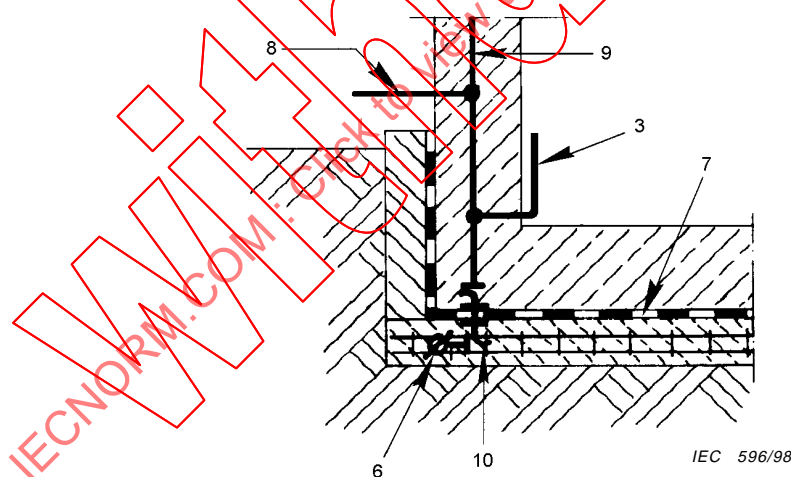
IEC 594/98



IEC 595/98

Figure 59a – Isolated foundation with foundation earth electrode in the non reinforced concrete layer below the bitumen insulation

Figure 59b – Isolated foundation with earth-termination conductor partly passing through the soil



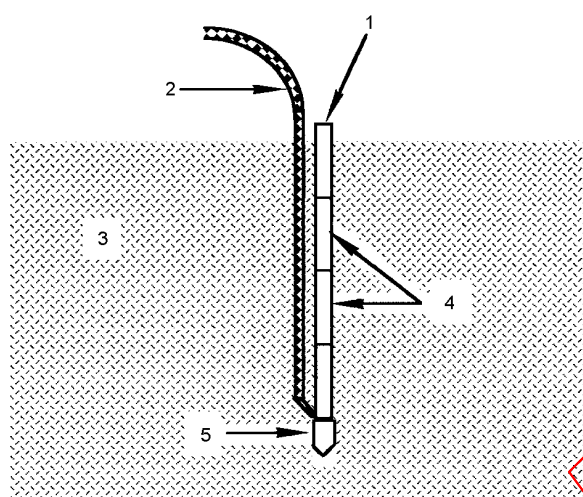
IEC 596/98

Figure 59c – Connecting conductor from the foundation earth electrode to the bonding bar passing the bitumen insulating layer

- 1 Down-conductor
- 2 Test joint
- 3 Bonding conductor to the internal LPS
- 4 Non-reinforced layer of concrete
- 5 Connecting conductor of the LPS
- 6 Foundation earth electrode
- 7 Bitumen insulation, watertight insulating layer
- 8 Connecting conductor between steel reinforcement and the test joint
- 9 Steel reinforcement in concrete
- 10 Puncturing of the watertight bitumen layer

NOTE – Permission from the structure constructor is necessary.

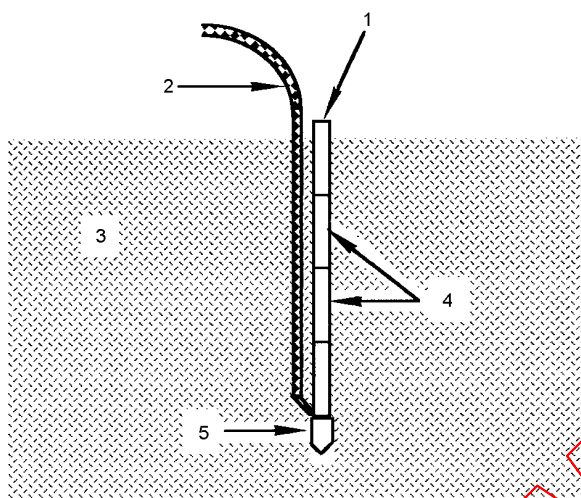
Figure 59 – Construction of foundation earth ring for structures of different foundation design



- 1 Le guide supérieur court peut être enlevé
- 2 Conducteur de terre. La partie supérieure peut être gainée
- 3 Sol
- 4 Guides
- 5 Pointe en acier

NOTE – Un conducteur continu est enfoncé dans le sol au moyens de guides. La continuité électrique du conducteur de terre est très avantageuse. Avec cette technique, aucune borne n'existe sur le conducteur de terre. Les guides de courte longueur sont faciles à manipuler.

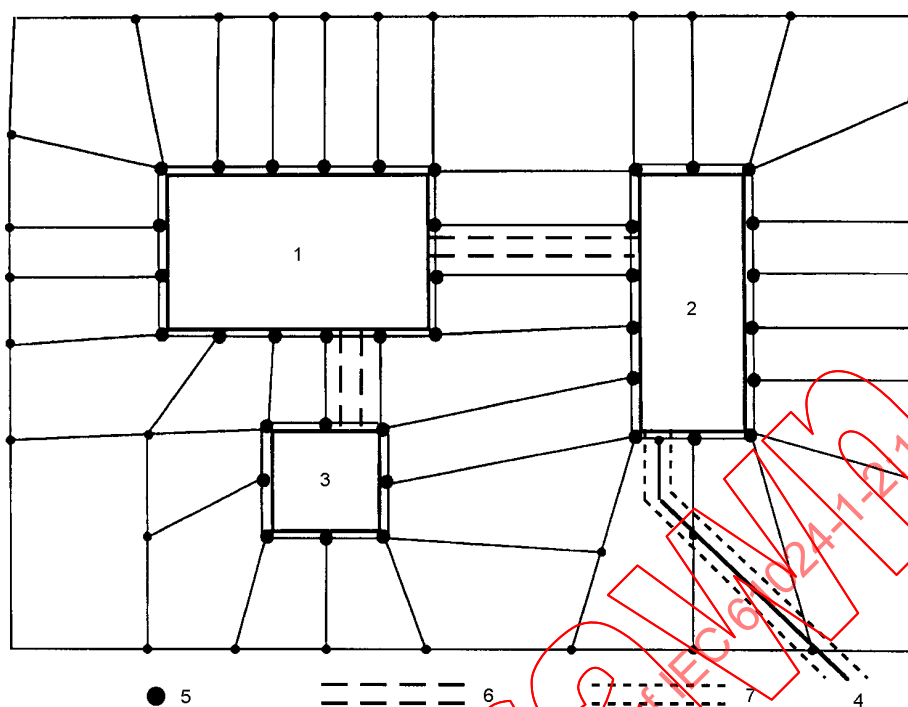
Figure 60 – Exemple de disposition de terre A, avec une électrode verticale



- 1 The short upper-most driving rod may be removed
- 2 Earthing conductor. The upper-most part may have an insulating jacket
- 3 Soil
- 4 Short driving rods
- 5 Driving steel dart

NOTE – A continuous wire conductor is driven into the soil by means of short driving rods. The electrical continuity of the earth electrode conductor is of great advantage; using this technique, no joints are introduced into the earth electrode conductor. Short driving rod segments are also easy to handle.

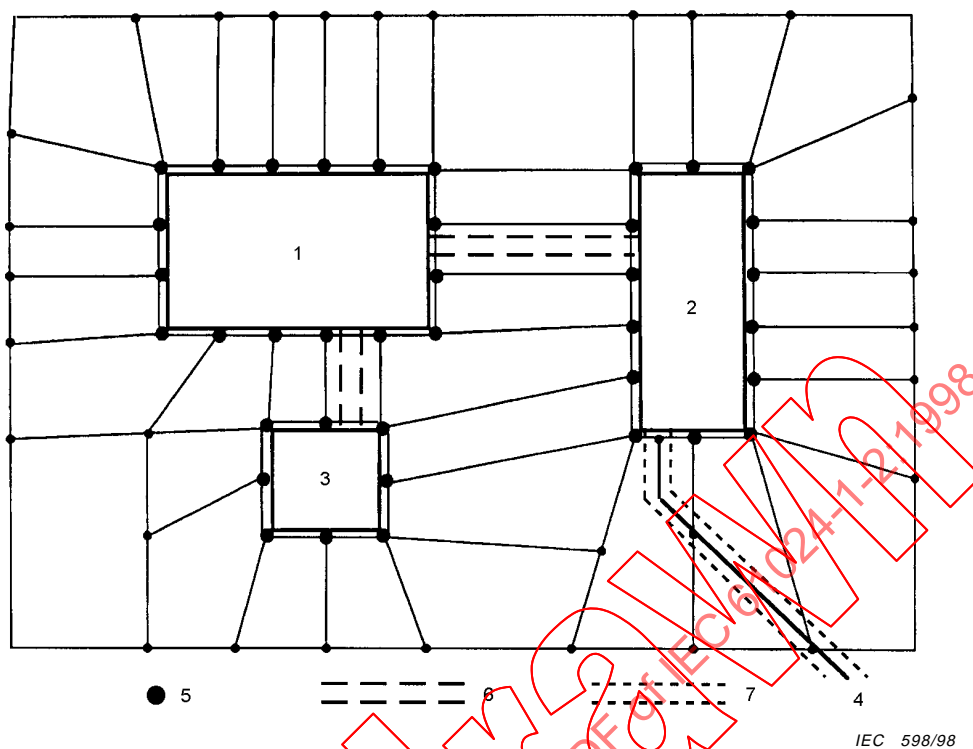
Figure 60 – Example of a type A earthing arrangement with a vertical earth electrode



IEC 598/98

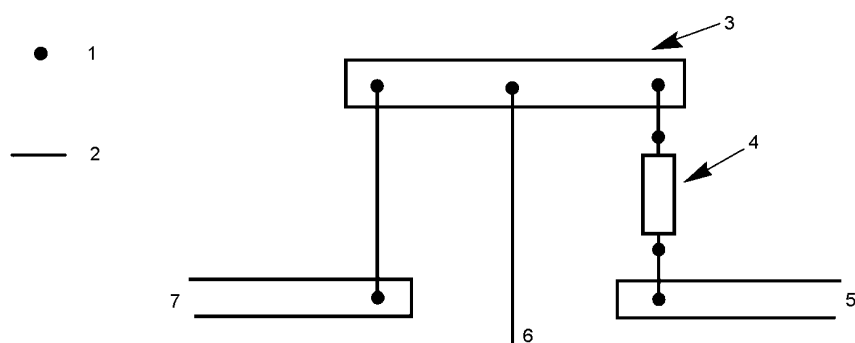
- 1, 2, 3 Structures voisines
- 4 Conducteur de maille en tranchée dans le sol
- 5 Borne anti-corrosive entre conducteurs de terre
- 6 Fourreau
- 7 Tranchée remplie

Figure 61 – Exemple de conception d'un réseau maillé de terre pour des structures voisines et leur interconnexion



- 1, 2, 3 Neighbouring structures
- 4 Earth mesh conductor in a cable trench filled with soil
- 5 Corrosion-resistant joint between earth-termination conductors
- 6 Cable duct
- 7 Cable trench filled with soil

Figure 61 – Example of design of an earth mesh electrode network for neighbouring structures and their interconnection

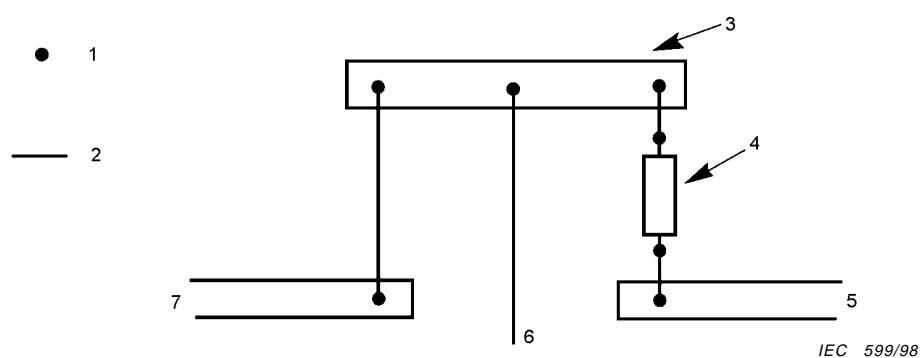


IEC 599/98

- 1 Serrage, écrou ou soudure
- 2 Conducteur d'équipotentialité
- 3 Barre d'équipotentialité
- 4 Parafoudre
- 5 Partie ou système requérant une liaison par parafoudre
- 6 Vers la prise de terre
- 7 Partie ou système requérant une liaison directe

NOTE – Une borne d'équipotentialité particulière est nécessaire si une connexion est réalisée avec l'armature du béton.

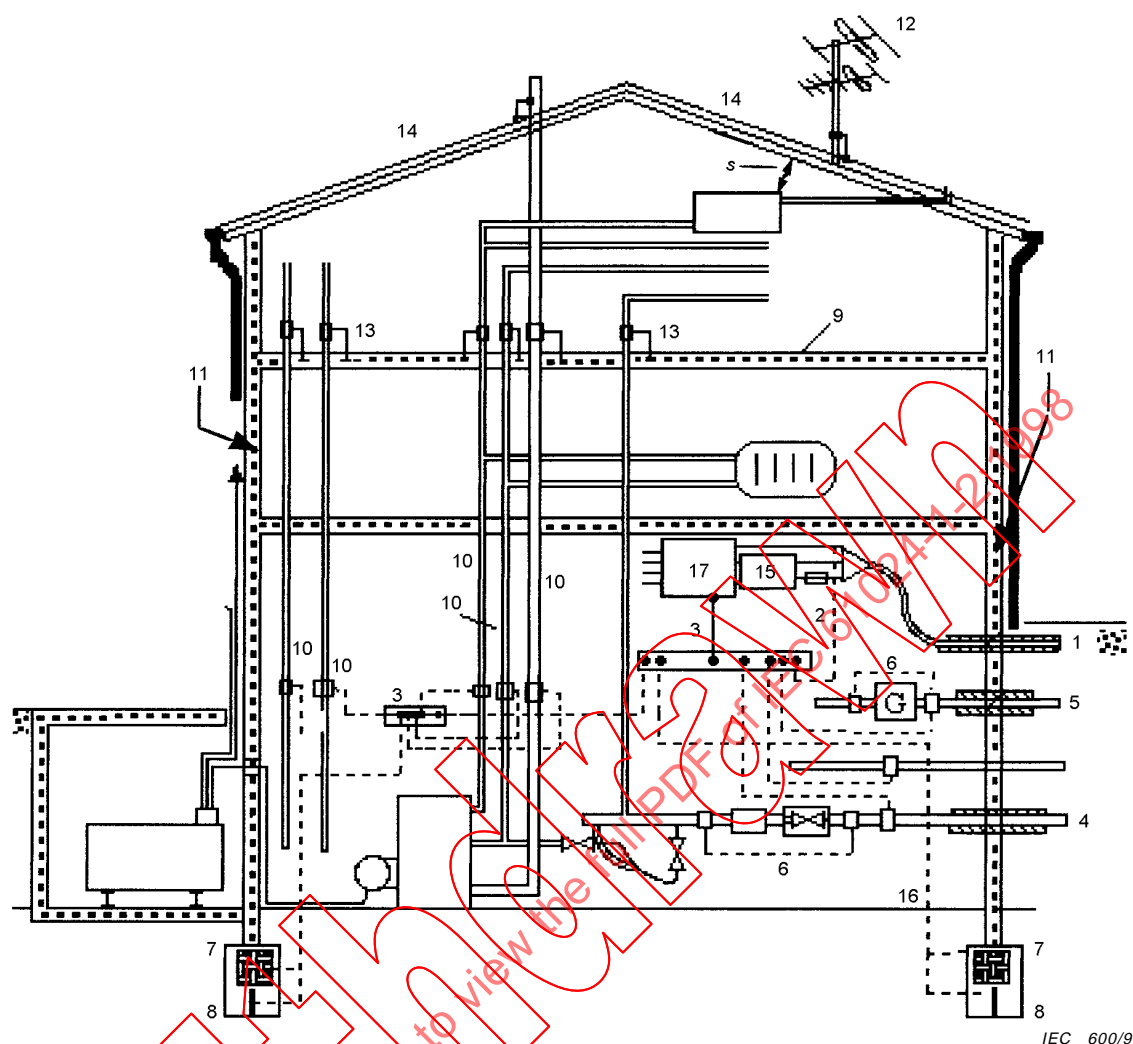
Figure 62 – Disposition d'équipotentialité des parties conductrices, par exemple canalisation d'eau métallique et barre reliées à la prise de terre



- 1 Clamped, bolted or welded joint
- 2 Bonding conductor
- 3 Bonding bar
- 4 SPD
- 5 Part or a system requiring bonding by a SPD
- 6 To the earth-termination system
- 7 Part or a system requiring direct bonding

NOTE – A special bonding joint is necessary if connection is made to the steel reinforcement.

Figure 62 – Bonding arrangement of conductive parts e.g. a metallic water pipe and a bar connected to the earth-termination of the structure



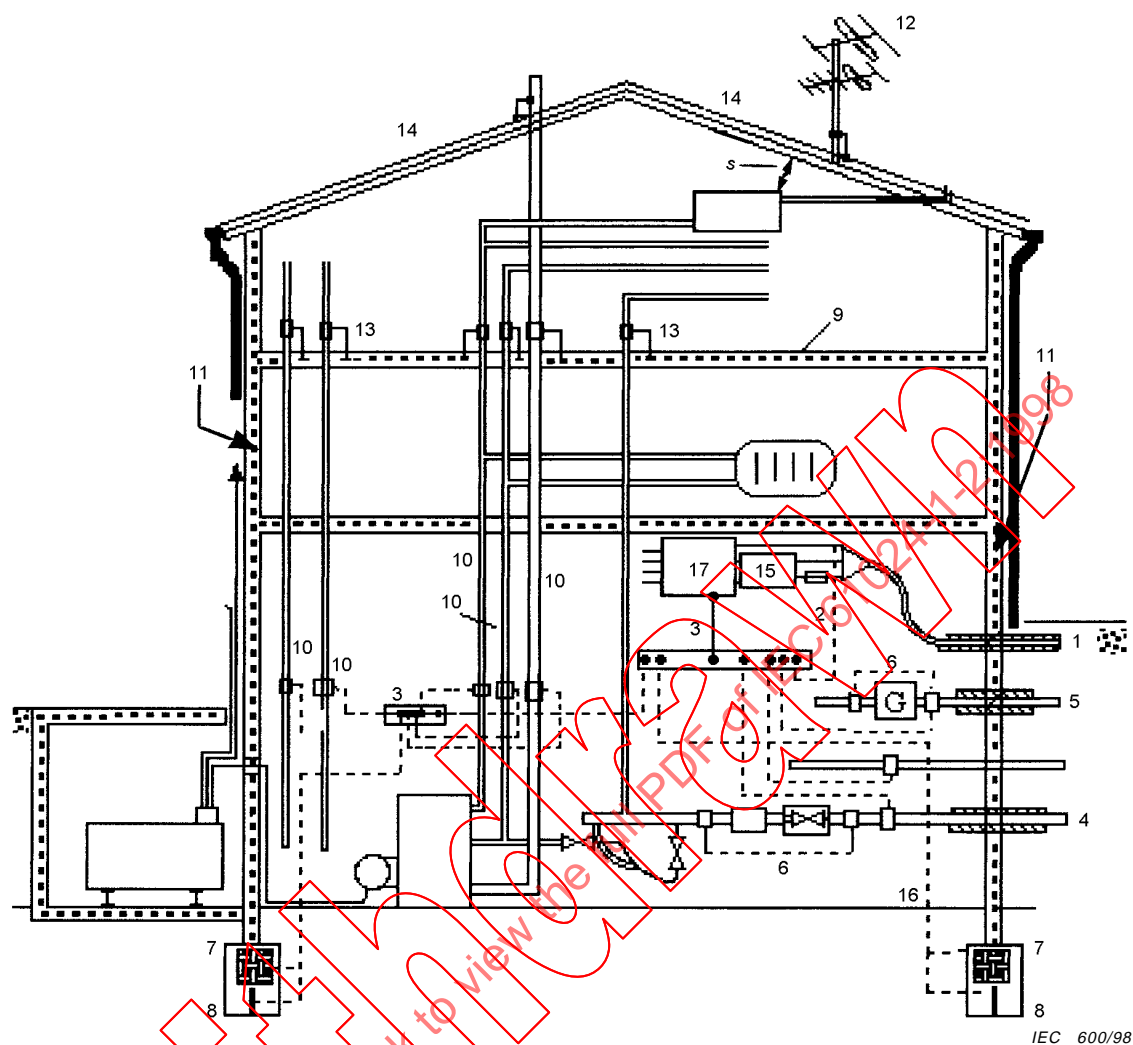
IEC 600/98

- 1 Câble avec isolation extérieure supplémentaire
- 2 Mise à la terre PE en schéma TN-S
- 3 Barre d'équipotentialité
- 4 Canalisations d'eau
- 5 Canalisations de gaz
- 6 Pontage du compteur à gaz *
- 7 Electrode naturelle de terre, armature acier de fondation
- 8 Prise de terre à fond de fouille
- 9 Conducteurs naturels de descente, armature acier dans parois extérieures et plancher
- 10 Canalisations métalliques
- 11 Conducteur naturel de descente
- 12 Antenne TV, dispositif naturel de capture
- 13 Equipotentialité des armatures de la structure
- 14 Dispositif de capture
- 15 Compteur électrique
- 16 Connexion à la prise de terre
- 17 Parafoudres
- s Distance de sécurité

* Peut être remplacé par un éclateur si nécessaire, mesure de protection anti-corrosive

NOTE – Les renforts en acier sont considérés comme références, auxquels toutes les parties métalliques de l'installation sont reliées.

Figure 63 – Exemple de conception d'une IPF intérieure dans une structure en béton armé



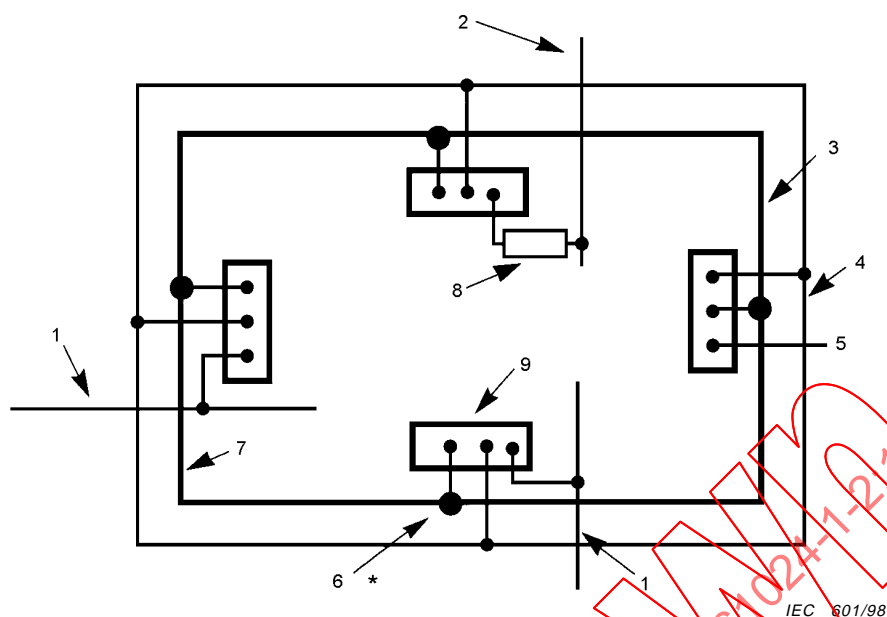
IEC 600/98

- 1 Cable with additional external insulation
- 2 PE earthing in TN-S system
- 3 Equipotential bonding bar
- 4 Water pipe
- 5 Gas piping
- 6 Bridging of gas meter*
- 7 Natural earth electrode, steel reinforcement in foundation
- 8 Foundation earth electrode
- 9 Natural down-conductors, steel reinforcement in the outer walls and floor
- 10 Metallic pipe installation
- 11 Natural down-conductor
- 12 TV antenna, natural air termination
- 13 Bonding to the steel reinforcement of the structure
- 14 Air-termination network
- 15 kWh meter
- 16 Connection to foundation earth
- 17 SPD
- s Safety distance

* Can be replaced by a spark gap, if necessary, as a corrosion-protective measure.

NOTE – The steel reinforcement is used as the reference, to which all metallic parts of the installations are bonded.

Figure 63 – An example of the design of an internal LPS of a steel-reinforced concrete structure

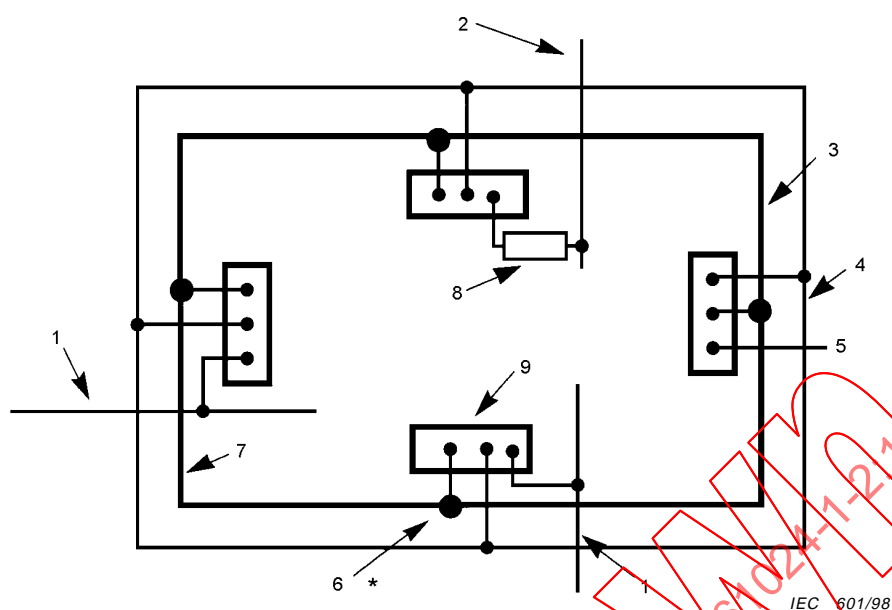


- 1 Partie conductrice extérieure, par exemple canalisation d'eau métallique
- 2 Alimentation de puissance ou de communication
- 3 Armature acier du mur extérieur ou de la fondation
- 4 Boucle de terre
- 5 Vers électrode complémentaire
- 6 Borne spéciale d'équipotentialité *
- 7 Paroi en béton armé, voir 3
- 8 Parafoudre
- 9 Barre d'équipotentialité

* Voir aussi la barre d'équipotentialité en acier décrite à l'annexe A.

NOTE – Les armatures de la fondation sont utilisées comme électrodes naturelles de terre.

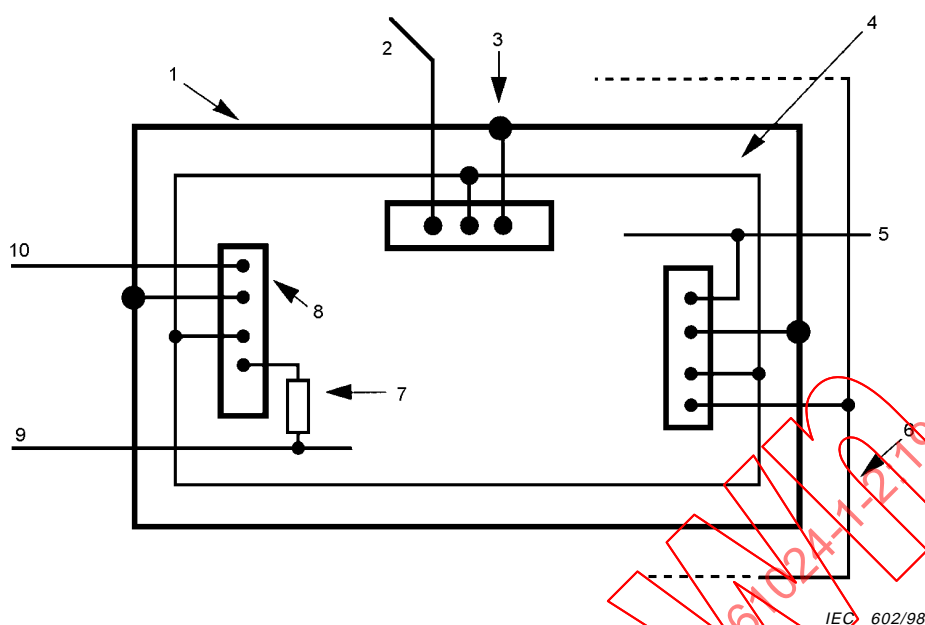
Figure 64 – Disposition d'équipotentialité d'une structure avec plusieurs entrées d'éléments conducteurs utilisant une prise de terre en boucle pour l'interconnexion des barres d'équipotentialité



- 1 External conductive part, e.g. metallic water pipe
- 2 Electric power or communication line
- 3 Steel reinforcement of the outer concrete wall and the foundation
- 4 Ring earth electrode
- 5 To an additional earth electrode
- 6 Special bonding joint *
- 7 Steel reinforced concrete wall, see 3
- 8 SPD
- 9 Bonding bar
- * See also application of a steel bonding bar as described in annex A.

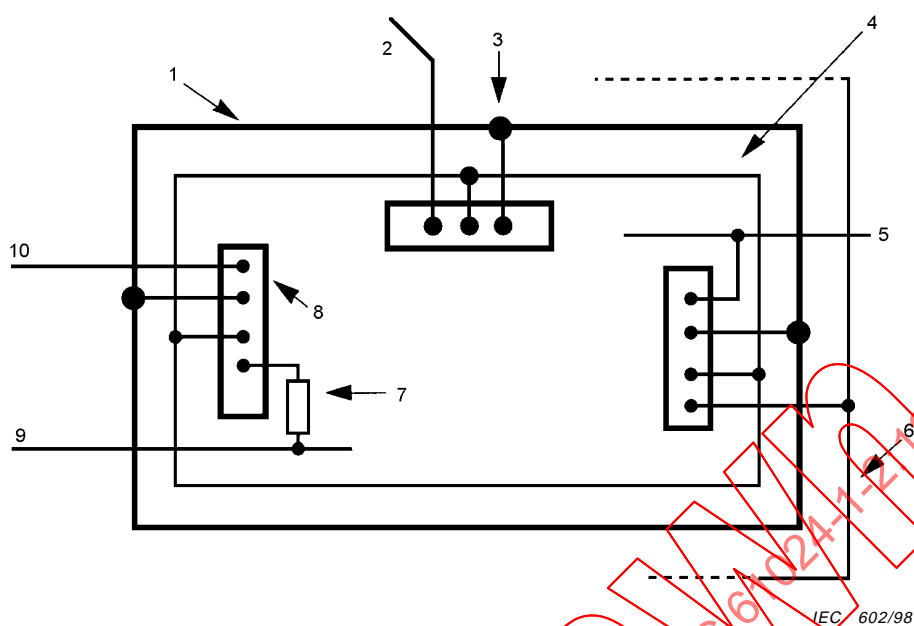
NOTE – The steel reinforcement in the foundation is used as a natural earth electrode.

Figure 64 – An example of bonding arrangement in a structure with multiple point entries of external conductive parts using a ring earth electrode for interconnection of bonding bars



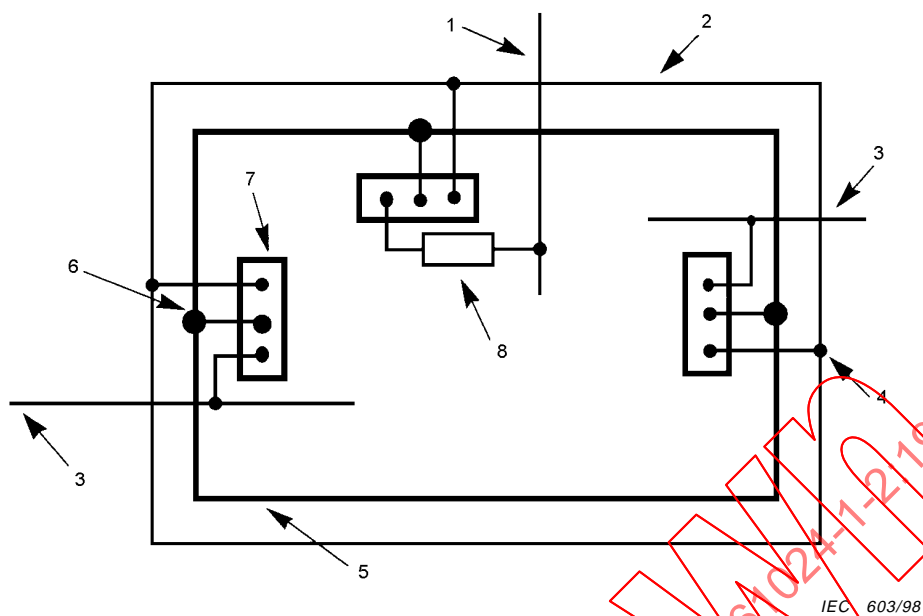
- 1 Armature acier du mur extérieur en béton et de la fondation
- 2 Autre électrode de terre
- 3 Borne d'équipotentialité
- 4 Ceinturage intérieur
- 5 Vers partie conductrice extérieure, par exemple tuyau d'eau
- 6 Boucle de terre, disposition B
- 7 Parafoudre
- 8 Barre d'équipotentialité
- 9 Alimentation de puissance ou de communication
- 10 Vers électrode complémentaire, disposition A

Figure 65 – Exemple d'équipotentialité dans le cas de plusieurs entrées d'éléments conducteurs et d'une alimentation de puissance ou de communication utilisant un ceinturage intérieur pour l'interconnexion des barres d'équipotentialité (voir aussi annexe A)



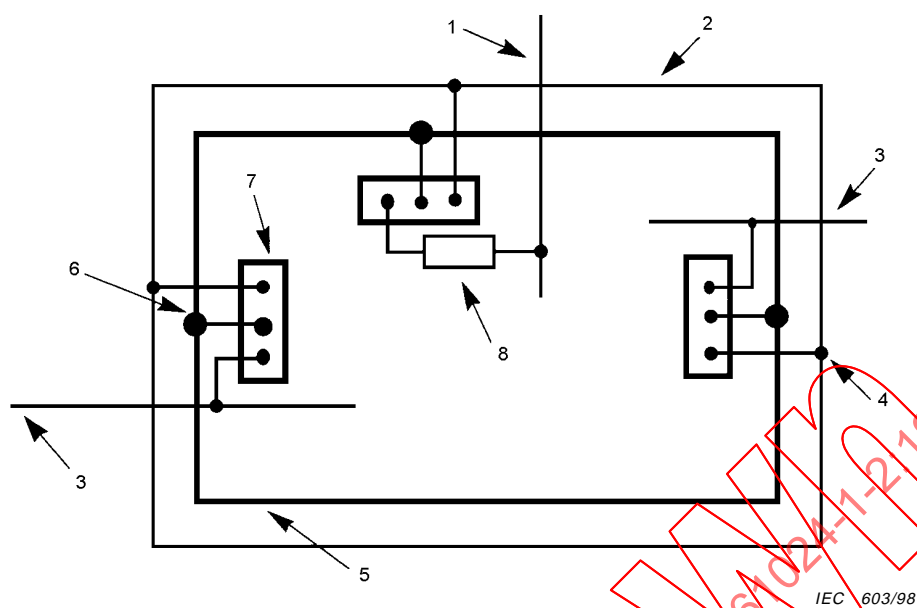
- 1 Steel reinforcement of the outer concrete wall and foundation
- 2 Other earth electrode
- 3 Bonding joint
- 4 Internal ring conductor
- 5 To external conductive part, e.g. water pipe
- 6 Ring earth electrode, type B earthing
- 7 SPD
- 8 Bonding bar
- 9 Electric power or communication line
- 10 To additional earth electrode, type A earthing

Figure 65 – An example of bonding in the case of multiple-point entry of external conductive parts and an electric power or communication line using an internal ring conductor for interconnection of the bonding bars (see also annex A)



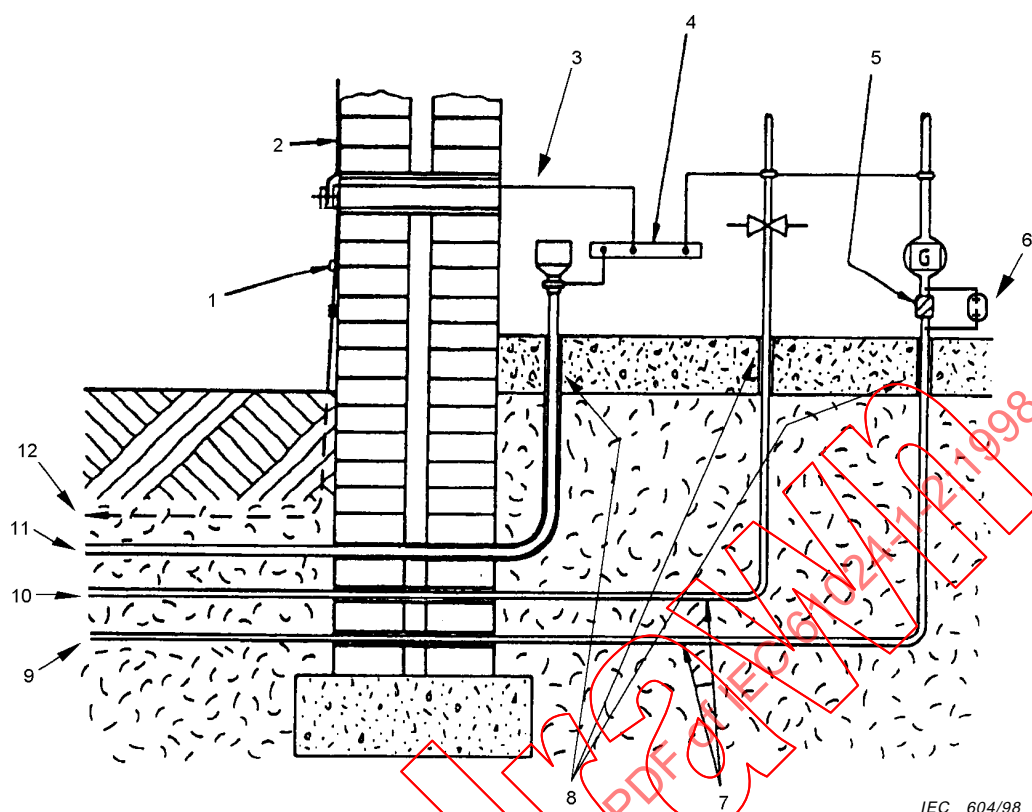
- 1 Alimentation de puissance ou de communication
- 2 Ceinturage horizontal extérieur
- 3 Partie conductrice extérieure
- 4 Borne de conducteur de descente
- 5 Armature acier dans le mur
- 6 Borne spéciale d'équipotentialité (voir A.1 de l'annexe A)
- 7 Barre d'équipotentialité
- 8 Parafoudre

Figure 66 – Exemple d'équipotentialité d'une structure à multiples points d'entrée d'éléments conducteurs dans la structure au-dessus du niveau du sol



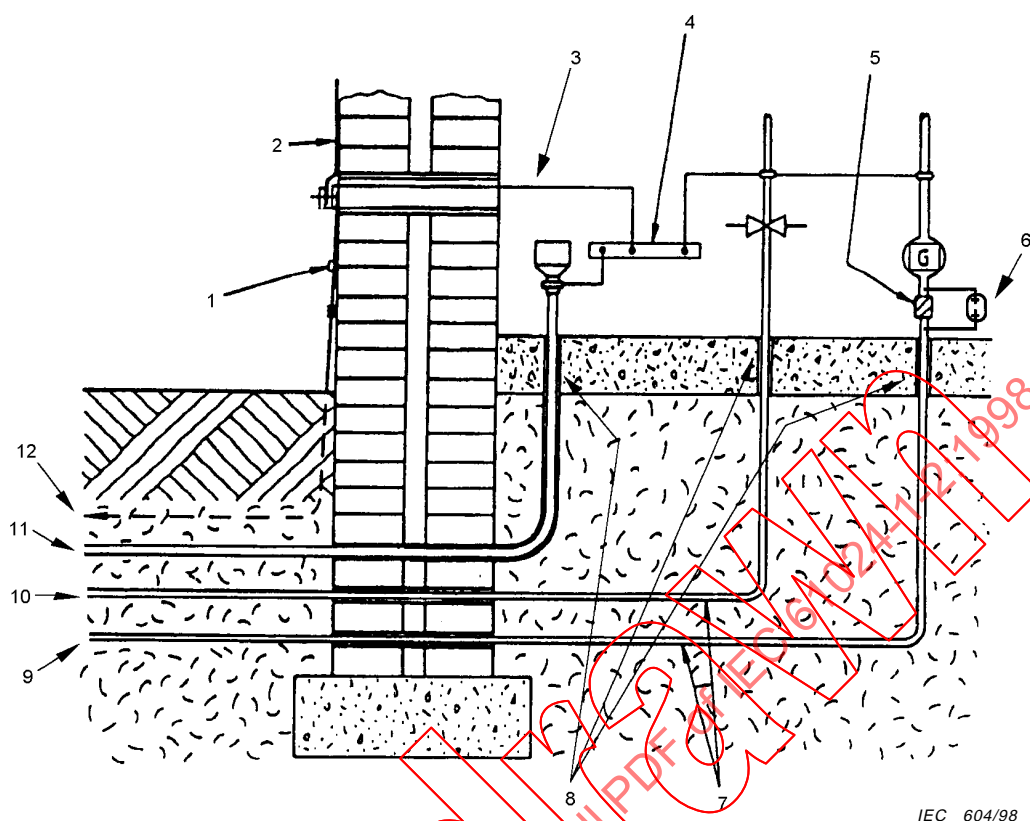
- 1 Electrical power or communication line
- 2 External horizontal ring conductor
- 3 External conductive part
- 4 Down-conductor joint
- 5 Steel reinforcement in the wall
- 6 Special bonding joint (see A.1 of annex A)
- 7 Bonding bar
- 8 SPD

Figure 66 – An example of bonding arrangement in a structure with multiple-point entries of external conductive parts entering the structure above ground level



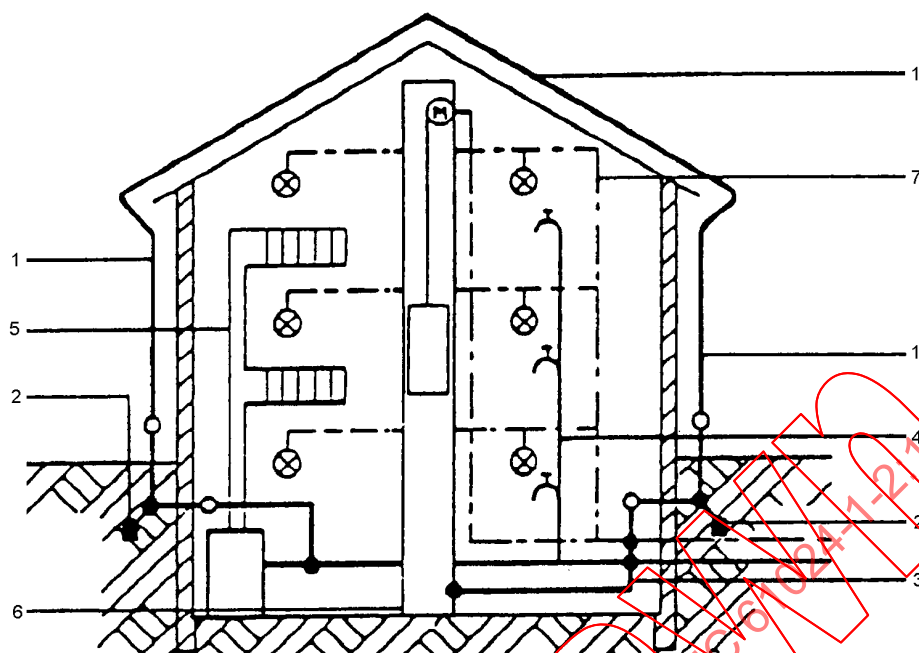
- 1 Borne d'essai
- 2 Conducteur de descente
- 3 Vers terre
- 4 Barre d'équipotentialité
- 5 Segment isolant
- 6 Eclateur
- 7 Services
- 8 Etanchéité
- 9 Tuyau gaz
- 10 Tuyau d'eau métallique
- 11 Câble basse tension (BT)
- 12 Prise de terre

Figure 67 – Exemple d'installation d'une IPF intérieure avec équipotentialité des services (eau, gaz, électricité) dans une structure sans parois en béton armé et un seul point d'entrée de tous les services



- 1 Test joint
- 2 Down-conductor
- 3 To the earth-termination system
- 4 Bonding bar
- 5 Insulating segment
- 6 Spark gap
- 7 Service pipes
- 8 Sealing compound
- 9 Gas pipe
- 10 Metallic water pipe
- 11 Low-voltage power cable
- 12 Earth-termination system

Figure 67 – An example of the construction of an internal LPS showing bonding to services (gas, water and electricity) in a structure without steel reinforced concrete walls applying a single entrance point for all services

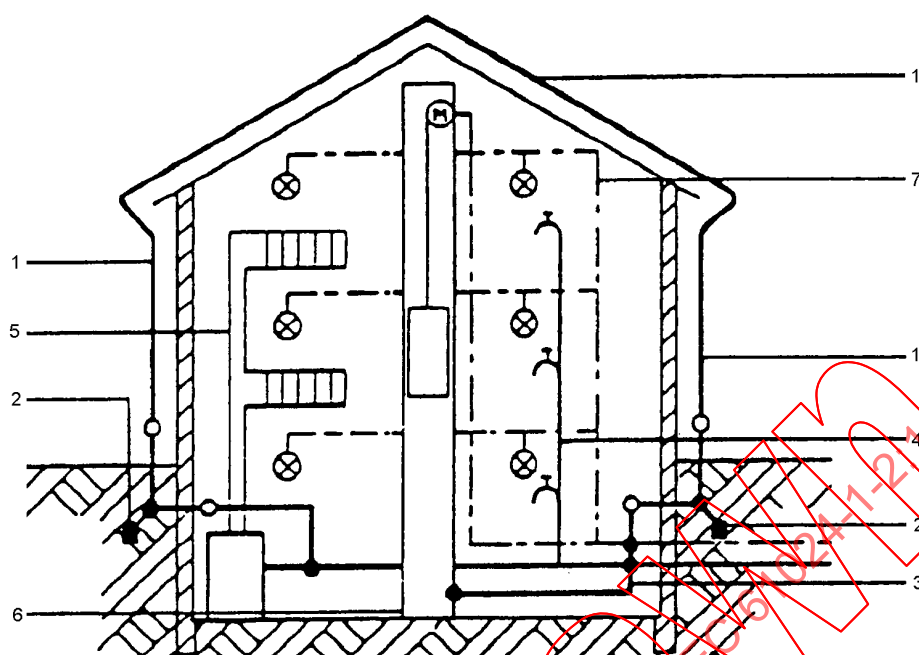


IEC 605/98

- 1 Conducteurs extérieurs de capture et de descente
- 2 Boucle de terre, disposition B
- 3 Barre d'équipotentialité
- 4 Canalisations d'eau métalliques
- 5 Tuyau chauffage central
- 6 Cage ascenseur
- 7 Installation basse tension (BT)

NOTE – Il convient que tous les services pénètrent dans la structure en un seul point au niveau du sol.

Figure 68 – Exemple de réalisation d'une IPF intérieure montrant l'équipotentialité d'une installation intérieure et extérieure de protection contre la foudre d'une structure en béton non armé

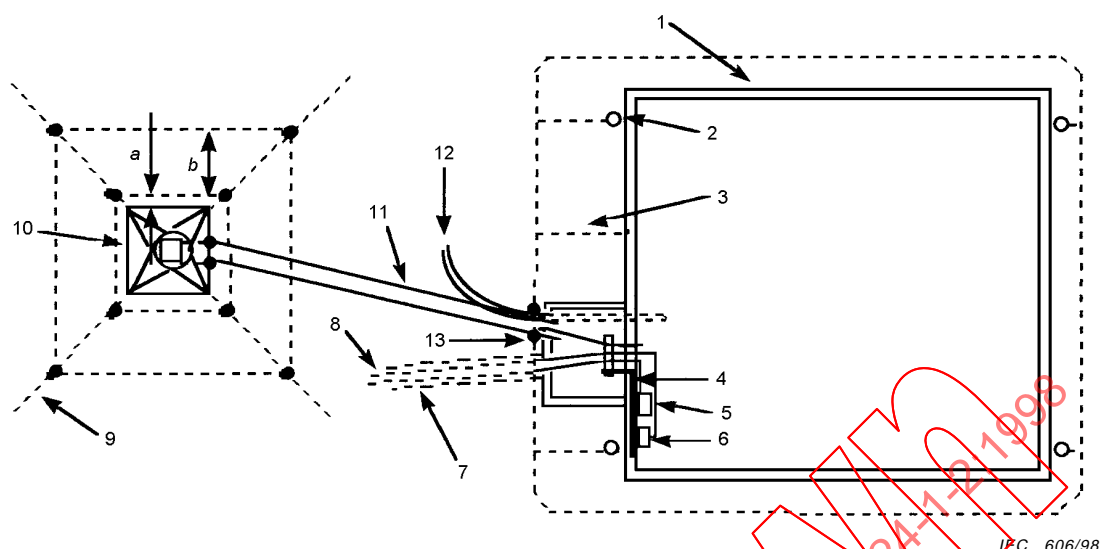


IEC 605/98

- 1 External LPS, air-terminations and down-conductors
- 2 Ring earth electrode, type B earthing arrangement
- 3 Bonding bar
- 4 Metallic water pipes
- 5 Central heating pipe
- 6 Elevator guide bars
- 7 Low-voltage power installation

NOTE – All services should enter the structure at the same inlet basement.

Figure 68 – An example of the construction of an internal LPS showing bonding of the internal and external LPS in a structure without steel-reinforced concrete walls



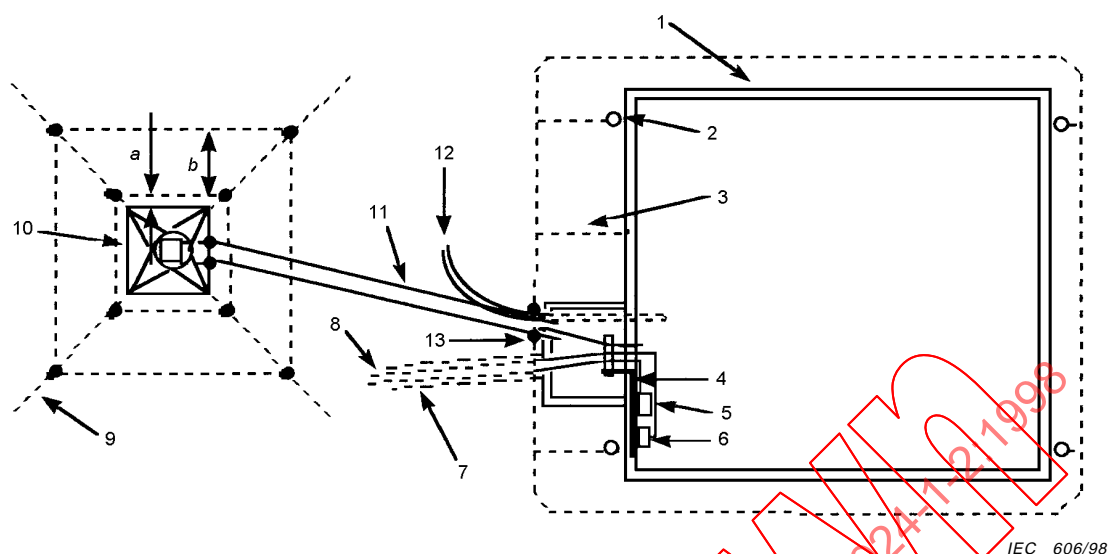
- 1 Structure en béton armé avec fenêtres et IPF extérieure
- 2 Conducteur de descente
- 3 Connexion entre armature et boucle de terre, disposition de terre B
- 4 Utilisation d'un plateau en acier galvanisé (épaisseur ≥ 2 mm) au lieu d'une barre d'équipotentialité, en contact avec la gaine métallique du câble dans le trou d'homme. Une épaisseur supérieure du mur réduit le risque de saturation magnétique (voir note 1)
- 5 Boîtier du parafoudre basse tension (BT)
- 6 Boîtier du parafoudre du téléphone
- 7 Câble HT ou BT dans un fourreau à faible impédance, cloisons en acier soudées
- 8 Câble téléphonique dans un fourreau à faible impédance ou blindé
- 9 Disposition de terre A
- 10 Tour de transmission
- 11 Tube ou fourreau en acier galvanisé enterré (épaisseur ≥ 2 mm en raison du risque de saturation) connecté à l'enveloppe métallique du trou d'homme
- 12 Canalisations d'eau métallique
- 13 Liaison entre le fourreau métallique et la terre

$a \approx 0,5$ m; $b \approx 5$ m

NOTE 1 – Le cuivre est préféré au fer en raison de la corrosion dans des bâtiments en béton armé (l'acier dans le béton a le même potentiel galvanique que le cuivre enterré).

NOTE 2 – En cas de longueurs courtes, les électrodes de terre de l'antenne sont connectées par des électrodes complémentaires, voir aussi la CEI 61312-1. Les dimensions données selon les règles de l'art ne sont pas obligatoires.

Figure 69 – Exemple d'installation d'une IPF extérieure et mise à la terre des parties conductrices extérieures d'une station de radiocommunication avec une grande longueur de câble (>10 m) entre l'antenne et les matériels dans la structure



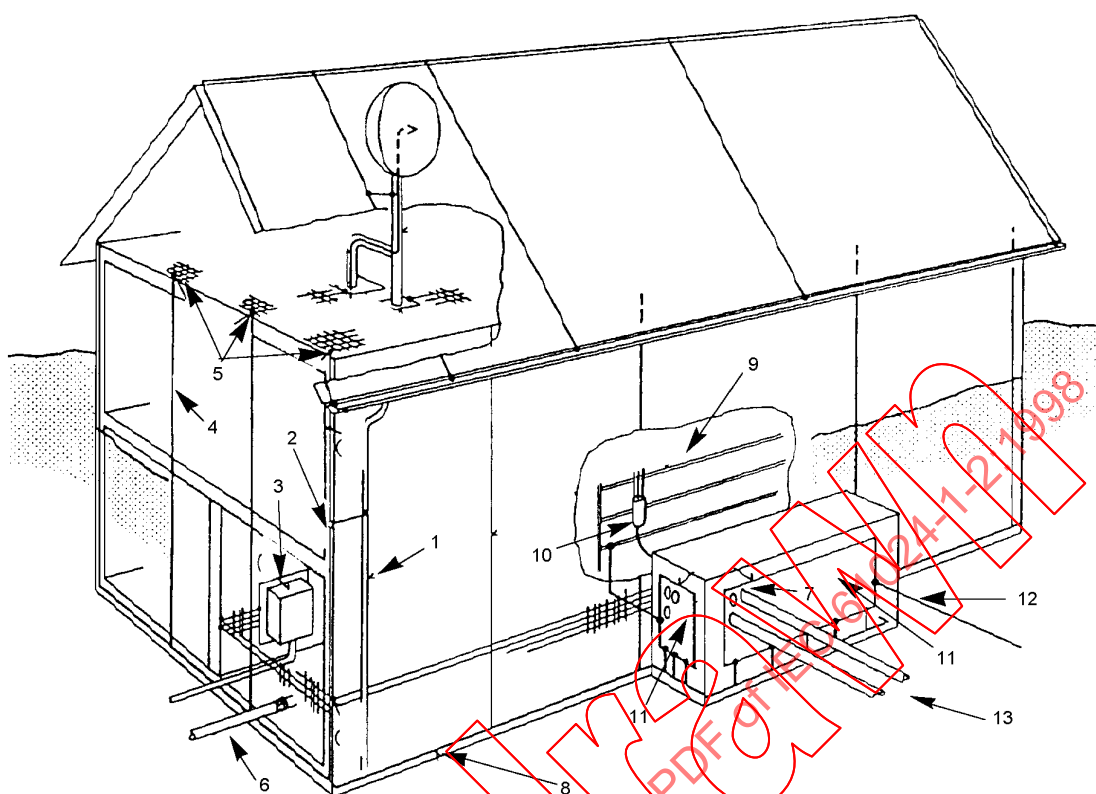
- 1 Steel-reinforced concrete structure with windows and external LPS
- 2 Down-conductor
- 3 Connection between steel reinforcement and ring earth electrode, type B earthing
- 4 A galvanized steel plate (thickness >2 mm) used instead of a bonding bar and in contact with the metallic sheath of the cable in the man-hole. Higher wall thickness reduces the risk of magnetic saturation (see NOTE 1).
- 5 Low-voltage power supply SPD box
- 6 Telephone SPD box
- 7 Low-or high-voltage cable in low impedance cable duct, welded steel walls
- 8 Telephone cable inside low impedance cable duct or specially shielded telephone cable
- 9 A-type earthing
- 10 Transmitter tower
- 11 Galvanized steel tube or steel duct in the earth (>2 mm wall thickness due to risk of saturation), bonded to the metallic covering of the man-hole
- 12 Metallic water pipe
- 13 Joint between the metallic duct and the earth termination system

$a \approx 0,5 \text{ m}$; $b \approx 5 \text{ m}$

NOTE – Copper is preferred to iron because of corrosion reasons in buildings with extensive steel reinforcement (steel in concrete has the same galvanic potential as copper in earth).

NOTE 2 – For systems with short cable ducts the ring earth electrodes on the antenna tower and the structure may be interconnected with additional earthing electrodes (see IEC 61312-1). All dimensions relate to good engineering practice but are not mandatory.

Figure 69 – Example of the construction of an external LPS and earthing of external conductive parts in a radio communication station with a long (e.g. >10 m) cable duct below the earth surface between the antenna and the equipment in the structure

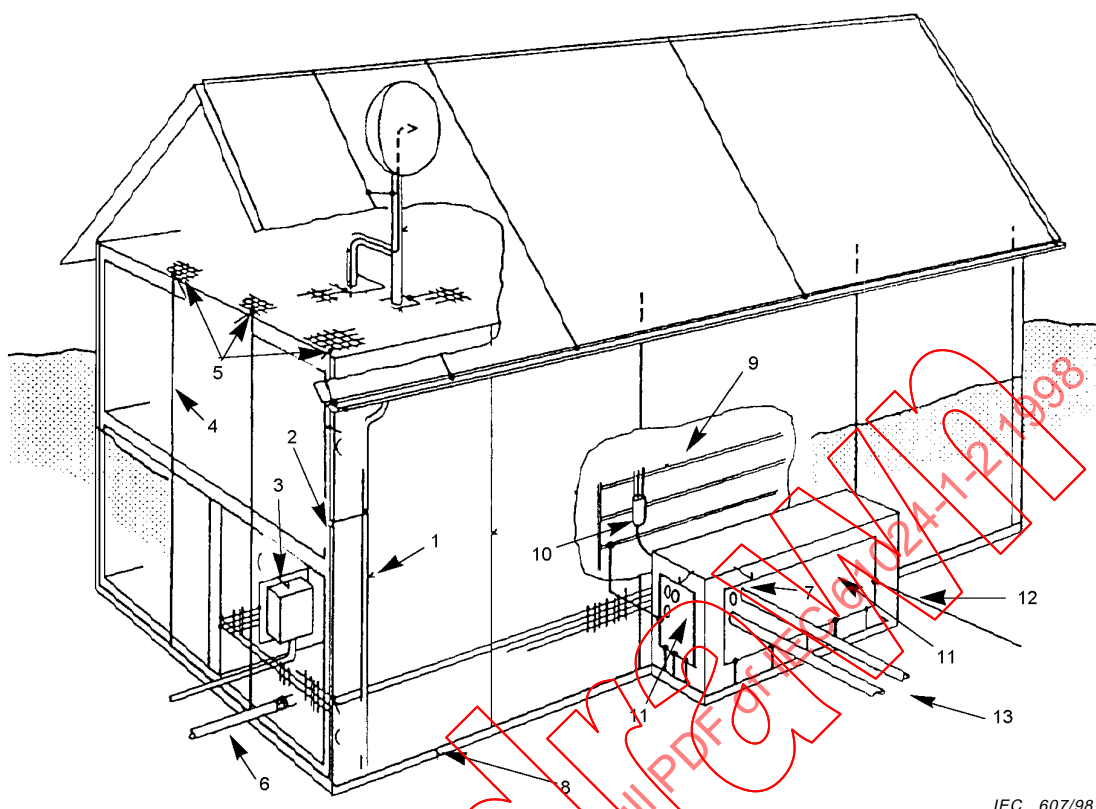


IEC 607/98

- 1 Gouttière, conducteur naturel de descente.
- 2 Borne d'essai
- 3 Tableau général de distribution
- 4 Armature complémentaire dans le béton utilisée comme conducteur de descente de l'IFP (voir annexe A)
- 5 Connexion à l'armature en acier
- 6 Entrée d'eau isolée, utiliser un éclateur
- 7 Fourreaux métalliques pour câbles TV
- 8 Armature de fondation utilisée comme prise naturelle de terre
- 9 Fixations de bornes de câbles
- 10 Parafoudres de lignes de communication
- 11 Plateau métallique remplaçant la barre d'équipotentialité
- 12 Electrode de terre radiale en tranchée au-dessus du bloc des canalisations plastiques, disposition A
- 13 Câbles TV

NOTE – Exemple montrant l'installation d'une IFP intérieure utilisant un plateau conducteur comme barre d'équipotentialité.

Figure 70 – Installation d'une IFP pour une structure comportant des télécommunications et réalisée en béton armé



- 1 Drain-pipe, natural down-conductor
- 2 Test joint
- 3 Main low-voltage power distribution box
- 4 Additional steel rod in concrete as an LPS down-conductor (see annex A)
- 5 Connection to steel reinforcement
- 6 Water inlet with insulating segment, use bridging spark gap
- 7 Metallic entrance tubes for television cables
- 8 Steel reinforcement in the foundation as natural earth termination system
- 9 Fixtures for cable joints
- 10 Primary SPD on communication lines
- 11 Gland metallic plate replacing the bonding bar
- 12 Radial earth electrode positioned in the cable trench above the block of plastic tubes for cables, type A earthing arrangement
- 13 Television cables

NOTE – An example showing the construction of the internal LPS using a conductive plate as equipotential bar.

Figure 70 – LPS for a telecommunication structure constructed of reinforced concrete

Annexe A (normative)

Structures en béton armé

A.1 Généralités

Il convient que les structures en béton armé conformes à 1.3 de la CEI 61024-1, soient utilisées comme composants naturels du système de protection.

Il a lieu de reconnaître les composants naturels suivants:

- conducteurs de descente conformes à 2.25 de la CEI 61024-1; et
- prise de terre conforme à 2.3.2 de la CEI 61024-1.

De plus, il convient que les armatures conductrices du béton, convenablement utilisées, forment l'épine dorsale de l'équipotentialité du système de protection intérieur selon 3.1 de la CEI 61024-1.

En outre, les éléments conducteurs de la structure doivent jouer le rôle d'écran électromagnétique pour des matériels électriques et électroniques contre le champ magnétique de foudre.

NOTE – Pour la protection contre les effets électromagnétiques, voir la CEI 61312-1.

Les structures industrielles comportent fréquemment des parties en béton armé réalisées sur place. Dans de nombreux autres cas, la structure est réalisée en panneaux préfabriqués de béton ou métalliques.

Si les armatures ou toute autre structure en acier sont connectées intérieurement et extérieurement et que la continuité électrique est conforme à 1.3 de la CEI 61024-1, la protection est très efficace contre la foudre à la fois pour la structure et les matériels électriques installés.

L'armature est utilisée pour réaliser la tenue mécanique désirée du béton et comprend des parties droites et courbées, lesquelles sont reliées ou ligaturées par du fil en acier doux aux points de croisement et de chevauchement. Un maillage est ainsi obtenu qui est capable de résister aux contraintes de coulage et de dureté du béton ainsi qu'aux autres contraintes mécaniques définies par les règles internationales de construction de structures. La figure A 1 montre une telle disposition avec deux armatures parallèles et deux autres à angle droit.

Sur la base d'investigations, il est reconnu qu'une connexion électrique est réalisée au moins tous les trois fils de liaison, par exemple toutes les armatures d'une structure en béton armé sont connectées électriquement. Les mesures effectuées sur des structures en béton armé confirment cette conclusion.

Il est recommandé que les connexions des circuits extérieurs aux armatures soient réalisées par colliers ou soudure.

La soudure d'armatures en acier n'est généralement pas admise en raison de l'affaiblissement consécutif de la tenue mécanique de la structure.

Si la soudure des armatures n'est pas admise, il convient que des armatures complémentaires en acier doux malléable (des ceinturages) connectés à un nombre élevé d'armatures par ligatures soient installées.

Il y a lieu que les bornes de soudure appropriées conformes à 2.4 de la CEI 61024-1, connectent le ceinturage aux fils conducteurs pour l'équipotentialité.

Le courant qui s'écoule dans les armatures est supposé se répartir dans un grand nombre de chemins parallèles.

L'impédance de la maille est donc faible et par suite la chute de tension due au courant de foudre. Ainsi, le champ magnétique généré par le passage du courant dans les armatures de renforcement est faible en raison de la faible densité de courant. Les interférences avec les conducteurs électriques voisins sont donc réduites.

Annex A **(normative)**

Reinforced concrete structures

A.1 General

Steel reinforcement in reinforced concrete structures complying with 1.3 of IEC 61024-1, should be used as a natural component of the LPS.

The following natural components should be noted:

- down-conductors according to 2.2.5 of IEC 61024-1;
- earth-termination networks according to 2.3.2 of IEC 61024-1.

Moreover, the conductive reinforcement of concrete, when properly used, should form the shell of potential equalization of the internal LPS according to 3.1 of IEC 61024-1.

Furthermore, the steel reinforcement of the structure may serve as an effective electromagnetic shield, which assists in protecting electric and electronic equipment from interference caused by lightning electromagnetic fields.

NOTE – For protection against electromagnetic interference, see IEC 61312-1.

Industrial structures frequently comprise sections of reinforced concrete which are produced on site. In many other cases parts of the structure may consist of prefabricated concrete units or of steel parts.

If the reinforcement of the concrete and any other steel constructions of a structure are connected both externally and internally so that the electric continuity complies with 1.3 of IEC 61024-1, highly effective protection against lightning may be achieved both for the structure and for the electrical equipment installed therein.

Reinforcement is applied to obtain the desired mechanical strength of concrete and it comprises either straight or bent steel rods, bonded/lashed together by soft steel wires at the crossing or overlapping points. In this way a spatial grid structure is obtained, capable of withstanding the forces exerted during pouring and hardening of the concrete and other possible external mechanical forces complying with international codes for structure constructions. Figure A.1 shows the construction of a lashed, soft steel wire-wound joint of two parallel reinforcing rods and two rods at right angles.

On the basis of earlier investigations it can be assumed that at least every third wire-lashing forms an electrically conductive link, so that practically all the rods of the reinforcement are electrically interconnected. Measurements carried out on reinforced concrete structures support this conclusion.

Connections of external circuits to the interconnected reinforcement should be performed by means of clamps or by welding.

Welding of reinforcing steel rods is generally not permitted due to the consequent weakening of the mechanical strength of the structure.

Where welding to the reinforcing rods is not permitted, additional mild steel rods (steel bonding connectors), connected to a large number of reinforcing rods by lashing should be installed.

Suitable joints, according to 2.4 of IEC 61024 should connect the steel bonding connectors to the conductive bonds used for bonding purposes.

The current injected into the reinforcing rods is assumed to flow through a large number of parallel paths.

The impedance of the resulting mesh is thus low and, as a consequence, the voltage drop due to the lightning current is also low. The magnetic field generated by the current in the reinforcing steel mesh is weak due to the low current density. Interference with neighbouring internal electrical conductors is correspondingly reduced.

Si une pièce est totalement enveloppée par des parois en béton armé selon 1.3 de la CEI 61024-1, le champ magnétique dû au passage du courant de foudre dans les armatures de renforcement à proximité des parois est beaucoup plus faible que celui qui existerait dans une structure protégée avec des conducteurs conventionnels de descente.

En raison des tensions induites réduites dans les boucles de conducteurs dans la pièce, l'équipement est raisonnablement protégé contre les tensions induites dues aux champs magnétiques.

Si des conducteurs d'équipotentialité sont connectés aux armatures dans le béton, il convient de porter une attention particulière aux problèmes de corrosion chimique.

La mesure de protection la plus simple contre la corrosion est de prévoir un ruban de silicone ou de bitume en extrémité, à proximité du point de sortie de la paroi, par exemple 50 mm ou plus à l'intérieur et à l'extérieur de la paroi.

L'utilisation d'armatures en acier galvanisé dans le béton n'est généralement pas admise par le constructeur de la structure. Cependant le risque de corrosion est faible (voir article 5).

Dans le cas d'atmosphères très agressives, il est recommandé de prévoir les sorties de conducteurs d'équipotentialité en acier inoxydable.

Si des pièces en acier doux ou écrous sont incorporées dans le béton, elles doivent être protégées contre la corrosion à l'extérieur de la paroi. Il y a lieu d'utiliser des rondelles de verrouillage crantées pour réaliser un contact électrique à travers l'extrémité finale de la tête.

Pour plus de détails sur la protection contre la corrosion, voir 5.2.

A.2 Utilisation des armatures du béton

Il y a lieu de prévoir des conducteurs d'équipotentialité pour l'exécution de liaisons fiables à ces conducteurs métalliques qui sont ligaturés aux armatures de la structure.

Il y a lieu que les conducteurs d'équipotentialité en acier comprennent des armatures rondes en acier ou des bandes ou rubans d'acier connectés aux armatures de renforcement. Ces conducteurs peuvent être des tiges, des ceinturages ou des maillages. Les points de connexion entre les conducteurs d'équipotentialité et les connexions des armatures doivent être soudés ou rivés.

Des exemples pratiques de dispositions de liaisons sont décrits à la figure A.2.

Les cadres conducteurs qui, par exemple, sont reliés aux parties conductrices de la structure doivent être utilisés comme conducteurs naturels et comme points de connexion pour l'équipotentialité intérieure.

Un exemple pratique est applicable aux ancrages de fondation, aux rails de machines et aux enveloppes, au moyen desquels l'équipotentialité est réalisée. La figure A.3 illustre une disposition d'armatures et de barres d'équipotentialité d'une structure industrielle.

Il convient que l'emplacement des bornes d'équipotentialité de la structure soit défini au stade initial du projet et connu du constructeur de la structure.

Il est recommandé de consulter ce dernier pour savoir si le soudage aux armatures est admis ou s'il convient d'installer des conducteurs supplémentaires d'équipotentialité. Il y a lieu que tous les travaux nécessaires soient réalisés et inspectés avant le coulage du béton, par exemple le planning effectué en parallèle avec la conception de la structure.

A.3 Soudage ou serrage sur les armatures

Si le soudage aux armatures est admis par le constructeur de la structure, il convient de souder une tige en fer à l'armature sur une longueur d'au moins 50 mm, voir figure A.4.

Il convient que cette tige soit incorporée dans le béton à l'emplacement choisi, ou soit soudée aux conducteurs d'équipotentialité qui pénétreront dans le béton selon la définition 1.3.11 de la présente norme.

When a room is totally enclosed by steel-reinforced concrete walls connected according to 1.3 of IEC 61024-1, the magnetic field due to lightning current flowing through the reinforcement in the vicinity of the walls is considerably lower than that in a room of a structure protected with conventional down-conductors.

Owing to the significantly lower induced voltages in conductor loops installed inside the room electrical equipment is reasonably well protected against the induced voltages arising from magnetic fields.

Where the bonding conductors to the reinforcement are brought through the concrete wall, particular attention should be paid to protection against chemical corrosion.

The simplest corrosion protection measure is the provision of a silicon rubber or bitumen finish in the vicinity of the exit point from the wall, e.g. 50 mm or more in the wall and 50 mm or more outside the wall.

The use of galvanized steel rods in concrete is, in general, not permitted by the civil works contractor. However, the risk of corrosion is low (see clause 5).

In the case of extremely aggressive atmospheres, it is recommended that the bonding conductor projecting from the wall be of stainless steel.

When cast-in type nuts or mild steel pieces are used, these shall be protected against corrosion on the outside of the wall. Serrated lock washers should be used to make electrical contact through the protective finish of the nut.

For more information on corrosion protection see 5.2.

A.2 Utilization of reinforcement in concrete

Bonding conductors should be furnished for providing reliable electrical connection to the steel bonding connectors which are lashed to the reinforcing rods of the structure.

Steel-bonding connectors should comprise round steel rods or steel bands which are connected to the reinforcing rods. These can be either straight rods or bonding ring-connectors or may be connected to meshed networks. The connection points between the bonding conductors and steel bonding connectors shall be either welded or clamped.

Some practical examples of arranging joints for bonding of conductors on a steel-reinforced concrete wall are depicted in figure A.2.

Conductive frames which, for example, are attached to apply conductive parts to the structure should be used as natural LPS conductors and as connection points for the internal equipotential bonding system.

A practical example is the foundation anchors or foundation rails of machines, apparatus or of housings, by means of which potential equalization is achieved. Figure A.3 illustrates the arrangement of the reinforcement and the bonding bars in an industrial structure.

The location of bonding terminations in the structure should be specified at an early planning stage of the design of the LPS and should be made known to the civil works contractor.

The civil works contractor should be consulted to determine whether welding to the reinforcing rods is permitted or whether additional steel bonding connectors should be installed. All necessary work should be performed and inspected prior to pouring of the concrete, i.e. planning of the LPS should be carried out hand-in-hand with the design of the structure.

A.3 Welding or clamping to the steel-reinforcing rods

When welding to the reinforcing rods is permitted by the civil works contractor the reinforcing rods should be welded over a length not less than 50 mm (see figure A.4).

This rod should either be brought out through the concrete at the designated place or it should be welded to the bonding conductors which should pass through the concrete according to definition 1.3.11 of this standard.

Une borne reliée à une armature du béton au moyen de serrage n'est pas une pratique reconnue pour la conception de composant naturel d'un système de protection.

Si des jonctions entre armatures du béton et conducteurs d'équipotentialité sont réalisées par serrage, deux conducteurs ou un conducteur avec deux serrages à différentes armatures ont lieu d'être utilisés pour des raisons de sécurité, car les jonctions dans le béton ne peuvent être inspectées. Si la liaison aux armatures de renforcement est de nature différente que celle de la borne, celle-ci devra être complètement scellée dans un compound étanche.

La figure A.5 montre une disposition de jonction des tiges de renfort et de conducteurs rubanés en fer.

Il convient que les conducteurs de liaison soient dimensionnés pour un courant partiel de foudre au point de jonction et doivent être conformes à 2.4 de la CEI 61024-1.

A.4 Armatures soudables complémentaires

Les ligatures doivent être serrées avec le même couple que celui des tiges de renforcement dans le béton armé.

Si des armatures soudables ne sont pas admises, il convient d'installer des tiges complémentaires, ceinturages, ligaturés aux armatures du béton. Il y a lieu que les conducteurs d'équipotentialité soient soudés aux ceinturages. Il convient de ne pas les utiliser à des fins de tenue mécanique. Ils sont constitués de tiges en acier doux et malléable qui peuvent être facilement pliées et soudées.

Afin d'éviter des mélanges d'armatures dans le béton, il est recommandé que les armatures complémentaires soient rondes, d'environ 10 mm de diamètre et douces par contraste avec les armatures du béton rugueuses.

Si des armatures soudées doivent être incorporées dans le béton, il n'est pas suffisant de souder aux seuls points de croisement avec une longueur de soudure de l'ordre de quelques millimètres. De telles soudures se cassent lors du coulage du béton.

Il convient que les soudures dans le béton présentent une longueur minimale de 50 mm et que les armatures de croisement suivent parallèlement les armatures de renfort du béton sur une longueur minimale de 50 mm avant soudage.

La figure A.4 montre une soudure correcte de conducteurs d'équipotentialité aux armatures de croisement et de renfort.

Le ceinturage dans le béton armé peut se présenter conformément aux paragraphes ci-après.

A.4.1 Connecteurs d'équipotentialité en acier

S'il faut relier des conducteurs individuels d'équipotentialité aux renforts du béton armé d'une paroi, il convient qu'un connecteur d'équipotentialité en acier d'une longueur d'au moins 2 m soit ligaturé aux tiges de renforcement en plusieurs points et que ces connexions soient soudées; de même, il y a lieu que le conducteur d'équipotentialité soit fixé à la paroi.

Les connexions aux barres d'équipotentialité de paroi ne sont efficaces que pour des courants faibles, par exemple pour la connexion de dispositifs à la liaison équipotentielle où seuls des courants faibles s'écoulent.

A.4.2 Ceinturages en acier

Si un grand nombre de conducteurs d'équipotentialité est prévu à un niveau donné, un ceinturage composé de plusieurs armatures en acier doux soudées ensemble doit être ligaturé aux armatures du béton armé afin de réaliser une boucle incorporée dans le béton à ce niveau. Aux points prévus, les conducteurs d'équipotentialité doivent être sortis et fixés à la banche de la paroi.

A joint by means of clamping to a round reinforcing rod extending from the concrete has not yet become a generally established practice in the design of LPS using reinforced concrete as a natural component.

Where joints between the reinforcing rods in concrete and the bonding conductor are made by means of clamping, two bonding conductors or one bonding conductor with two clamps to different reinforcing bars should always be used for safety reasons, since the joints cannot be inspected after the concrete has set. If the bonding conductor to reinforcing rod is a dissimilar metal joint then the joint area should be completely sealed with a moisture inhibitor compound.

Figure A.5 shows clamps used for joints for reinforcing rods and strip iron conductors.

The bonding conductors should be dimensioned for the proportion of lightning current flowing at the bonding point and should comply with 2.4 of IEC 61024-1.

A.4 Additional installed weldable rods

The lashed joints shall be tightened with the same force as the lashings of the reinforcing rods in the reinforced concrete.

Where welding to the reinforcing rods is not permitted, additional steel bonding connectors should be installed, which are lashed to the steel reinforcing rods of the concrete. Bonding conductors should be welded to the steel bonding connectors which should not be used for mechanical strength purposes. Ductile steel rods which can be easily bent and welded are preferable for the steel bonding connectors.

In order to avoid confusion between the different types of steel rods in concrete, it is recommended that round steel rods of approximately 10 mm diameter with a smooth surface should be used in contrast to the ordinary ribbed surface of the reinforcing rods.

When welded rods have to be cast into concrete, it is not sufficient to weld at crossing points with weld seam lengths of only a few millimetres. Such joints frequently break on pouring the concrete.

Welds within concrete should be at least 50 mm long. The crossing rods should be bent to run for at least 50 mm distance prior to welding.

Figure A.4 shows correct welding of bonding conductors to the reinforcing rods of the reinforced concrete.

The steel bonding connectors in reinforced concrete may be arranged in several different ways as described in the following subclauses.

A.4.1 Steel bonding connectors

When individual bonding conductors need to be connected to the reinforcing rods of a reinforced concrete wall, a steel bonding connector of at least 2 m length should be attached by numerous lashed joints to crossing reinforcing rods, and the connection points between the bonding conductor and the steel bonding connector should be welded and the bonding conductor should be secured to the wall shuttering.

Connections to individual steel bonding connectors are suitable only for low currents, e.g. for connection of devices to the equipotential bonding, where only low currents can flow through the connection.

A.4.2 Steel bonding ring-connectors

When a large number of bonding conductors are required at a specific floor level, a steel bonding bar consisting of several mild steel rods welded together should be lashed to the reinforcing rods of the reinforced concrete to form a ring-conductor cast in concrete around the structure or parts of the structure at this floor level. At designated points, welded bonding conductors should be brought out of the concrete and fixed to the wall or ceiling shuttering.

Les ceinturages peuvent être utilisés pour l'équipotentialité d'un dispositif de capture ou des panneaux conducteurs de façade utilisés comme composants naturels de descente, pour la connexion des poteaux métalliques ou de colonnes en béton armé ou pour des équipotentialités intérieures.

A.4.3 Réseau maillé de connecteurs d'équipotentialité en acier

Si un grand nombre de connexions d'équipotentialité est prescrit sur divers niveaux et si un soin particulier est porté sur les passages de courant à faible inductance, par l'utilisation d'armatures dans le béton armé pour réaliser l'équipotentialité et l'écran de l'espace intérieur de la structure, les conducteurs de ceinturage selon A.4.2 doivent être installés sur divers niveaux et interconnectés au moyen de tiges en acier doux verticales à des intervalles au plus égaux à 10 m.

La figure A.6 montre un exemple de réseau équipotentiel de tiges en acier doux ligaturées aux armatures du béton armé pouvant assurer une grande qualité de l'équipotentialité de l'installation intérieure de protection contre la foudre.

Il y a lieu de préférer cette disposition pour une meilleure fiabilité, particulièrement si la valeur du courant de perturbation n'est pas connue.

Il convient qu'un réseau maillé soit aussi utilisé si les liaisons équipotentielle sont susceptibles d'écouler des courants élevés en cas de défaut de l'alimentation.

A.4.4 Ossatures en acier et armatures en acier du béton armé

Les tiges de renforcement des parois, les colonnes en béton et les ossatures en acier peuvent être utilisées comme conducteurs naturels de descente. Il y a lieu de prévoir une borne de jonction au niveau de la toiture afin de faciliter la connexion au dispositif de capture et, sauf si la boucle à fond de fouille dans le béton est la seule prise de terre, de prévoir des bornes de connexion pour la liaison à la prise de terre.

Les figures A.7, A.8, A.9 et A.10 montrent des détails de construction des composants naturels de systèmes de protection dans des structures en béton armé. Voir aussi 5.5 pour l'utilisation des armatures dans le béton armé pour la prise de terre de fond de fouille.

Il est recommandé que les conducteurs de descente intérieurs dans les colonnes individuelles et les parois soient interconnectés par des armatures en acier et satisfassent aux règles de continuité électrique selon 1.3 de la CEI 61024-1.

Il convient que les armatures en acier d'éléments préfabriqués en béton de parois et de colonnes soient reliées à celles des planchers et plafonds avant leur coulage.

De nombreuses parties conductrices existent dans les éléments armés et coulés sur place dans le béton, par exemple parois, colonnes, escaliers, puits d'ascenseurs, etc. Si les planchers sont coulés sur place, il y a lieu que les conducteurs de descente des colonnes et parois individuelles soient interconnectés au moyen d'armatures pour assurer une bonne répartition du courant de foudre. Si les planchers sont préfabriqués, de telles connexions ne sont pas disponibles. Cependant, il est généralement possible de relier les armatures des éléments individuels préfabriqués à celles des colonnes et des parois avant le coulage des planchers par insertion d'armatures de connexion complémentaires; cette opération entraîne peu de frais supplémentaires.

Si les éléments préfabriqués sont utilisés pour une façade suspendue, aucune connexion ne peut être fournie et la protection contre la foudre n'est pas efficace. Si une protection élevée est demandée pour les matériels situés à l'intérieur, par exemple bureaux avec matériels de traitement des données, il est nécessaire de relier les armatures de ces éléments aux murs porteurs de manière telle que le courant de foudre se répartisse sur toute la surface extérieure de la structure (voir A.7).

Si une bande continue de baies vitrées est installée dans les parois extérieures, une décision doit être prise pour relier les éléments en béton armé au-dessus ou en dessous du bandeau au moyen des colonnes existantes ou par des connexions plus rapprochées correspondant à la pente du toit.

De nombreuses parties conductrices incorporées dans les parois extérieures améliorent l'écran électromagnétique intérieur de la structure. La figure 53 montre une telle connexion avec revêtement métallique de façade et bandeau de baies vitrées.

Il convient que les dimensions des bornes et des conducteurs de connexion aux armatures soient conformes aux tableaux 5 et 6 de la CEI 61024-1. Une barre horizontale continue ou ceinturage ligaturée aux armatures verticales des parois a lieu d'être installée au niveau du dispositif de capture et de la prise de terre.