

**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 1er 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.

Withdrawing

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.

Withholding

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 continuent 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 écouant 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: $I_n \geq 10 \text{ kA}$ for 8/20 μs 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:

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

where:

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

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

l_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.