

NF C17-100-3, NF EN 62305-3

DÉCEMBRE 2012

www.afnor.org

Ce document est à usage exclusif et non collectif des clients STANDARDS WEBPORT. Toute mise en réseau, reproduction et rediffusion, sous quelque forme que ce soit, même partielle, sont strictement interdites.

This document is intended for the exclusive and non collective use of STANDARDS WEBPORT (Standards on line) customers. All network exploitation, reproduction and re-dissemination, even partial, whatever the form (harcopy or media), is strictly prohibited.



**DOCUMENT PROTÉGÉ
PAR LE DROIT D'AUTEUR**

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, 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 accord formel.

Contacter :
AFNOR – Norm'Info
11, rue Francis de Pressensé
93571 La Plaine Saint-Denis Cedex
Tél : 01 41 62 76 44
Fax : 01 49 17 92 02
E-mail : norminfo@afnor.org

afnor

WEBPORT

Pour : VINCI Energies

le : 18/08/2021 à 17:03

Diffusé avec l'autorisation de l'éditeur

Distributed under licence of the publisher

norme européenne

NF EN 62305-3

Décembre 2012

norme française

Indice de classement : **C 17-100-3**

ICS : 29.020 ; 91.120.40

Protection contre la foudre

Partie 3 : Dommages physiques sur les structures et risques humains

E : Protection against lightning -
Part 3: Physical damage to structures and life hazard

D : Blitzschutz -
Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen

Norme française homologuée

par décision du Directeur Général d'AFNOR le 14 Novembre 2012, pour prendre effet à compter du 14 Décembre 2012.

Remplace la norme homologuée NF EN 62305-3 de décembre 2006 et son amendement A11, d'avril 2009 qui restent en vigueur jusqu'en janvier 2014.

Correspondance

La Norme européenne EN 62305-3:2011 a le statut d'une norme française et reproduit la Norme internationale CEI 62305-3:2010 avec des modifications.

Analyse

Le présent document spécifie les exigences pour la protection d'une structure contre les dommages physiques par un système de protection contre la foudre (SPF) et pour la protection contre les blessures d'êtres vivants dues aux tensions de contact et de pas à proximité d'un SPF.

Descripteurs

Protection contre la foudre, bâtiment, installation, structure, armature de béton armé, risque humain, mesure de protection, définition, conception, dispositif de protection, isolation électrique, protection contre les contacts électrique, prise de terre, protection intérieur extérieur, mise en œuvre, maintenance, vérification.

Modifications

Par rapport aux documents remplacés, publication d'une nouvelle édition.

Corrections

AVANT-PROPOS NATIONAL

Ce document constitue la version française complète de la norme européenne EN 62305-3:2011 qui reproduit le texte de la publication CEI 62305-3:2011 avec des modifications.

Les modifications du CENELEC sont signalées par un trait vertical dans la marge gauche du texte.

Cette Norme Française fait référence à des Normes internationales. Quand une Norme internationale citée en référence a été entérinée comme Norme Européenne, ou bien quand une norme d'origine européenne existe, la Norme Française issue de cette Norme Européenne est applicable à la place de la Norme internationale.

L'Union Technique de l'Électricité a voté défavorablement au CENELEC sur le projet de EN 62305-3, le 4 novembre 2010.

NORME EUROPÉENNE
EUROPÄISCHE NORM
EUROPEAN STANDARD

EN 62305-3

Mars 2011

ICS 29.020; 91.120.40

Remplace EN 62305-3:2006 + corr. Nov.2006 + corr. Sep.2008 + A11:2009

Version française

**Protection contre la foudre -
Partie 3: Dommages physiques sur les structures et risques humains
(CEI 62305-3:2010, modifiée)**

Blitzschutz -
Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und
Personen
(IEC 62305-3:2010, modifiziert)

Protection against lightning -
Part 3: Physical damage to structures and
life hazard
(IEC 62305-3:2010, modified)



La présente Norme Européenne a été adoptée par le CENELEC le 2011-01-02. Les membres du CENELEC sont tenus de se soumettre au Règlement Intérieur du CEN/CENELEC qui définit les conditions dans lesquelles doit être attribué, sans modification, le statut de norme nationale à la Norme Européenne.

Les listes mises à jour et les références bibliographiques relatives à ces normes nationales peuvent être obtenues auprès du Secrétariat Central ou auprès des membres du CENELEC.

La présente Norme Européenne existe en trois versions officielles (allemand, anglais, français). Une version dans une autre langue faite par traduction sous la responsabilité d'un membre du CENELEC dans sa langue nationale, et notifiée au Secrétariat Central, a le même statut que les versions officielles.

Les membres du CENELEC sont les comités électrotechniques nationaux des pays suivants: Allemagne, Autriche, Belgique, Bulgarie, Chypre, Croatie, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République Tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Slovaquie, Slovénie, Suède et Suisse.

CENELEC

Comité Européen de Normalisation Electrotechnique
Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization

Management Centre: Avenue Marnix 17, B - 1000 Bruxelles

Avant-propos

Le texte de la Norme internationale CEI 62305-3:2010, préparée par le CE 81 de la CEI, Protection contre la foudre, avec les modifications communes préparées par le Comité Technique CENELEC TC 81X, Protection contre la foudre, a été soumis au vote formel et a été approuvé par le CENELEC comme EN 62305-3 le 02/01/2011.

La présente Norme Européenne remplace l'EN 62305-3:2006 + corr. Nov.2006 + corr. Sep.2008 + A11:2009.

La présente EN 62305-3:2011 comprend les modifications techniques significatives suivantes par rapport à la EN 62305-3:2006 + corr. Nov.2006 + corr. Sep.2008 + A11:2009:

- 1) Les épaisseurs minimales des tôles ou canalisations métalliques indiquées dans le Tableau 3 pour les dispositifs de capture sont présumées ne pas être en mesure d'éviter les problèmes de points chauds.
- 2) L'acier comportant un dépôt électrolytique de cuivre est introduit comme matériau adapté aux SPF.
- 3) Certaines surfaces de section des conducteurs du système de protection (SPF) contre la foudre ont été légèrement modifiées.
- 4) À des fins de liaison, des éclateurs d'isolement sont utilisés pour les installations métalliques, tandis que le parafoudre (ou SPD, Surge Protective Device) est utilisé pour les réseaux internes.
- 5) Deux méthodes – simplifiée et détaillée – sont fournies pour l'évaluation de la distance de séparation.
- 6) Les mesures de protection contre les blessures d'êtres vivants dues à un choc électrique sont également prises en compte à l'intérieur de la structure.
- 7) Une information plus complète concernant le système de protection contre la foudre (SPF) dans le cas de structures présentant un risque d'explosion est fournie à l'Annexe D (normative).

L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. Le CEN et le CENELEC ne sauraient être tenus pour responsables de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

Les dates suivantes ont été fixées:

- | | | |
|---|-------|------------|
| – date limite à laquelle la EN doit être mise en application au niveau national par publication d'une norme nationale identique ou par entérinement | (dop) | 02/01/2012 |
| – date limite à laquelle les normes nationales conflictuelles doivent être annulées | (dow) | 02/01/2014 |
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	2
INTRODUCTION.....	8
1 Domaine d'application.....	9
2 Références normatives	9
3 Termes et définitions	9
4 Système de protection contre la foudre (SPF)	14
4.1 Classe de SPF	14
4.2 Conception du SPF.....	15
4.3 Continuité des armatures d'acier dans des structures en béton armé	15
5 Installation extérieure de système de protection contre la foudre	16
5.1 Généralités.....	16
5.1.1 Application d'une installation extérieure de système de protection contre la foudre.....	16
5.1.2 Choix de l'installation extérieure de système de protection contre la foudre.....	16
5.1.3 Utilisation des composants naturels.....	16
5.2 Dispositifs de capture	16
5.2.1 Généralités	16
5.2.2 Emplacement.....	17
5.2.3 Dispositifs de capture contre les coups de foudre latéraux sur les structures hautes	18
5.2.4 Mise en œuvre	19
5.2.5 Composants naturels	19
5.3 Conducteurs de descente	20
5.3.1 Généralités	20
5.3.2 Emplacement d'un SPF isolé.....	21
5.3.3 Emplacement d'un SPF non isolé	21
5.3.4 Mise en œuvre.....	21
5.3.5 Composants naturels	22
5.3.6 Bornes d'essai	23
5.4 Réseau de prises de terre.....	23
5.4.1 Généralités	23
5.4.2 Dispositions de prise de terre dans les conditions générales.....	24
5.4.3 Installation des électrodes de terre	25
5.4.4 Electrodes de terre naturelles.....	26
5.5 Composants	26
5.5.1 Généralités	26
5.5.2 Fixations.....	27
5.5.3 Connexions.....	28
5.6 Matériaux et dimensions	28
5.6.1 Matériaux.....	28
5.6.2 Dimensions.....	28
6 Installation intérieure de système de protection contre la foudre	29
6.1 Généralités.....	29
6.2 Liaison équipotentielle de foudre.....	30
6.2.1 Généralités	30

6.2.2	Liaison équipotentielle de foudre pour les installations métalliques	30
6.2.3	Liaison équipotentielle de foudre pour les parties conductrices extérieures.....	31
6.2.4	Liaison équipotentielle de foudre des réseaux internes	32
6.2.5	Liaison équipotentielle de foudre des lignes connectées à la structure à protéger.....	32
6.3	Isolation électrique du SPF extérieur.....	33
6.3.1	Généralités	33
6.3.2	Approche simplifiée.....	34
6.3.3	Approche détaillée	35
7	Maintenance et inspection d'un SPF	35
7.1	Généralités.....	35
7.2	Application des inspections.....	35
7.3	Ordre des inspections	35
7.4	Maintenance.....	36
8	Mesures de protection contre les blessures d'êtres vivants dues aux tensions de contact et de pas.....	36
8.1	Mesures de protection contre les tensions de contact.....	36
8.2	Mesures de protection contre les tensions de pas	36
Annexe A (normative)	Emplacement du dispositif de capture	38
Annexe B (normative)	Section minimale de l'écran d'un câble entrant pour éviter des étincelles dangereuses	43
Annexe C (informative)	Evaluation de la distance de séparation s	44
Annexe D (normative)	Informations complémentaires concernant les SPF dans le cas de structures avec risque d'explosion.....	50
Annexe E (informative)	Lignes directrices pour la conception, la mise en œuvre, la maintenance et l'inspection des systèmes de protection contre la foudre	58
Bibliographie	156
Figure 1	– Angle de protection correspondant à la classe de SPF	18
Figure 2	– Boucle d'un conducteur de descente.....	22
Figure 3	– Longueur minimale l_1 de chaque électrode de terre selon la classe de SPF	24
Figure A.1	– Volume protégé par une tige de capture verticale.....	38
Figure A.2	– Volume protégé par une tige de capture verticale.....	39
Figure A.3	– Volume protégé par un réseau de fils tendus	39
Figure A.4	– Volume protégé par des conducteurs isolés combinés dans une maille selon la méthode de l'angle de protection et la méthode de la sphère fictive	40
Figure A.5	– Volume protégé par des conducteurs non-isolés combinés dans une maille selon la méthode des mailles et la méthode de l'angle de protection	41
Figure A.6	– Conception du dispositif de capture selon la méthode de la sphère fictive	42
Figure C.1	– Valeurs du coefficient k_c dans le cas d'un réseau de fils tendus	44
Figure C.2	– Valeurs du coefficient k_c dans le cas d'un réseau à plusieurs conducteurs de descente.....	45
Figure C.3	– Valeurs du coefficient k_c dans le cas d'une toiture en pente avec un dispositif de capture sur l'arête	47
Figure C.4	– Exemples de calcul de la distance de séparation dans le cas de conducteurs de descente multiples, avec ceinturage des conducteurs de descente à chaque niveau	48

Figure C.5 – Valeurs du coefficient k_c dans le cas d'un réseau de capture maillé et d'un réseau de conducteurs de descente multiples (à améliorer si possible).....	49
Figure E.1 – Schéma de conception d'un SPF	60
Figure E.2 – Conception d'un système de protection contre la foudre pour l'encorbellement d'une structure.....	66
Figure E.3 – Mesure de la résistance électrique totale	67
Figure E.4 – Equipotentialité dans une structure avec armature d'acier	69
Figure E.5 – Méthodes typiques de jonction des tiges de renfort dans le béton (lorsque cela est admis)	70
Figure E.6 – Exemple de fixations utilisées comme connexions entre les tiges de renfort et les conducteurs	71
Figure E.7 – Exemples de points de connexion à l'armature d'un mur en béton armé	72
Figure E.8 – Utilisation d'une façade métallique comme réseau de conducteurs de descente naturels et connexion des supports de façade	76
Figure E.9 – Connexion du bandeau continu de baies à la couverture métallique d'une façade	77
Figure E.10 – Conducteurs de descente intérieurs dans des structures industrielles.....	80
Figure E.11 – Installation de conducteurs d'équipotentialité dans les structures en béton armé et de liaisons souples entre deux panneaux en béton armé	82
Figure E.12 – Conception d'un dispositif de capture selon la méthode de l'angle de protection pour diverses hauteurs conformément au Tableau 2	85
Figure E.13 – SPF isolé extérieur utilisant deux mâts de capture isolés, conçu selon la méthode de l'angle de protection.....	87
Figure E.14 – SPF isolé extérieur avec deux mâts de capture isolés, interconnectés par un conducteur de capture horizontal.....	88
Figure E.15 – Exemple de conception d'un dispositif de capture d'un SPF non isolé par tiges de capture	89
Figure E.16 – Exemple de conception d'un dispositif de capture d'un SPF non isolé constitué par un fil horizontal selon la méthode de l'angle de protection.....	90
Figure E.17 – Volume protégé d'une tige de capture sur une surface en pente en utilisant la méthode de l'angle de protection	91
Figure E.18 – Conception d'un réseau de dispositifs de capture de SPF sur une structure de forme complexe	92
Figure E.19 – Conception d'un dispositif de capture d'un SPF selon la méthode de l'angle de protection, la méthode des mailles et disposition générale des éléments de capture	93
Figure E.20 – Espace protégé par deux fils parallèles et horizontaux de capture ou deux tiges de capture ($r > h_t$)	94
Figure E.21 – Exemple de conception de dispositif de capture de SPF non isolé selon la méthode des mailles	96
Figure E.22 – Quelques exemples de détails d'un SPF sur une structure avec toitures en pente recouvertes de tuiles	99
Figure E.23 – Dispositif de capture et conducteurs cachés pour des bâtiments de hauteur inférieure à 20 m, avec des toits en pente.....	100
Figure E.24 – Installation d'un SPF utilisant les composants naturels du toit de la structure	102
Figure E.25 – Emplacement du SPF extérieur sur une structure en matériau isolant, par exemple, du bois ou des briques, d'une hauteur maximale de 60 m avec toiture en terrasse et fixations de toiture	103

Figure E.26 – Installation d'un réseau de capture sur une toiture avec revêtement conducteur où le percement de la couverture n'est pas acceptable	104
Figure E.27 – Installation d'un SPF extérieur sur une structure à armature d'acier utilisant l'armature des parois extérieures comme composants naturels	105
Figure E.28 – Exemple de goujon de capture utilisé sur les toitures de parcs de stationnement.....	106
Figure E.29 – Tige de capture utilisée pour la protection d'une fixation métallique de toiture comportant des installations électriques non reliées au dispositif de capture	107
Figure E.30 – Méthode de réalisation d'une continuité électrique sur un revêtement de parapet métallique	108
Figure E.31 – Fixation métallique de toiture protégée contre les impacts directs de la foudre, connectée au dispositif de capture.....	111
Figure E.32 – Exemples d'installation d'un système de protection contre la foudre d'une maison avec antenne TV	114
Figure E.33 – Installation d'un système de protection contre la foudre d'un équipement métallique de toiture contre un impact de foudre direct	115
Figure E.34 – Connexion d'une tige de capture naturelle au conducteur de capture.....	117
Figure E.35 – Réalisation du pontage entre les segments de panneaux de façade métalliques	118
Figure E.36 – Installation d'un SPF extérieur sur une structure en matériau isolant avec différents niveaux de toiture	120
Figure E.37 – Exemples de géométrie des conducteurs de SPF	121
Figure E.38 – Installation d'un SPF avec uniquement deux conducteurs de descente et prises de terre à fond de fouille	122
Figure E.39 – Exemples de connexion du réseau de prises de terre au SPF de structures utilisant des conducteurs de descente naturels (poutres) et détail d'une borne d'essai	126
Figure E.40 – Réalisation d'une prise de terre à fond de fouille pour les structures à différentes conceptions de fondation	130
Figure E.41 – Exemples de deux prises de terre verticales avec disposition de terre de type A.....	132
Figure E.42 – Réseau de prises de terre maillé d'une implantation.....	135
Figure E.43 – Exemple de disposition d'équipotentialité.....	142
Figure E.44 – Exemple d'une disposition d'équipotentialité d'une structure avec des entrées multiples de parties conductrices extérieures utilisant une prise de terre en boucle pour l'interconnexion des barres d'équipotentialité.....	144
Figure E.45 – Exemple d'équipotentialité dans le cas d'entrées multiples de parties conductrices extérieures et d'un réseau de puissance ou de communication utilisant un conducteur de ceinturage intérieur pour l'interconnexion des barres d'équipotentialité.....	145
Figure E.46 – Exemple de disposition d'équipotentialité d'une structure avec des entrées multiples de parties conductrices extérieures dans la structure au-dessus du niveau du sol	146
Figure E.47 – Indications pour les calculs de la distance de séparation s pour le cas le plus défavorable de point d'impact de foudre à une distance l du point de référence selon 6.3	148
Tableau 1 – Relation entre les niveaux de protection contre la foudre (NPF) et la classe de SPF (voir EN 62305-1)	14
Tableau 2 – Valeurs maximales du rayon de la sphère fictive, de la taille des mailles et de l'angle de protection correspondant à la classe de SPF	17



Tableau 3 – Epaisseur minimale des tôles ou canalisations métalliques des dispositifs de capture	20
Tableau 4 – Valeurs typiques préférables de la distance entre les conducteurs de descente selon la classe de SPF	21
Tableau 5 – Matériaux des SPF et conditions d'utilisation	27
Tableau 6 – Matériau, configuration et section minimale des conducteurs de capture, des tiges, des électrodes de terre guidées et des conducteurs de descente	28
Tableau 7 – Matériau, configuration et dimensions minimales des électrodes de terre	29
Tableau 8 – Dimensions minimales des conducteurs de connexion de différentes barres d'équipotentialité ou de connexion de ces mêmes barres au réseau de prises de terre	31
Tableau 9 – Dimensions minimales des conducteurs de connexion des installations métalliques internes à la barre d'équipotentialité	31
Tableau 10 – Isolation d'un SPF extérieur – Valeurs du coefficient k_1	34
Tableau 11 – Isolation d'un SPF extérieur – Valeurs du coefficient k_m	34
Tableau 12 – Isolation d'un SPF extérieur – Valeurs approchées du coefficient k_c	34
Tableau B.1 – Longueur de câble à prendre en considération selon l'état de l'écran	43
Tableau E.1 – Points de fixation suggérés	97
Tableau E.2 – Période maximale entre les inspections d'un SPF	150

INTRODUCTION

La présente partie de la EN 62305 traite de la protection, à l'intérieur et autour d'une structure, contre les dommages physiques et contre les blessures d'êtres vivants dues aux tensions de contact et de pas.

La mesure de protection essentielle et la plus fiable pour la protection des structures contre les dommages physiques est considérée être le système de protection contre la foudre (SPF). Il comprend généralement un système de protection extérieure et un système de protection intérieure contre la foudre.

Un système de protection extérieure contre la foudre est destiné à

- a) intercepter un coup de foudre sur la structure (par un dispositif de capture);
- b) écouler de manière sûre le courant de foudre vers la terre (par un conducteur de descente);
- c) disperser le courant de foudre dans la terre (par un réseau de prises de terre).

Un système de protection intérieure contre la foudre permet de prévenir les étincelles dangereuses dans la structure en utilisant une liaison équipotentielle ou une distance de séparation (et de ce fait une isolation électrique) entre les composants du système de protection extérieure (tel que défini en 3.2) et les autres éléments conducteurs internes de la structure.

Les mesures de protection essentielles contre les blessures d'êtres vivants dues aux tensions de contact et de pas sont destinées à:

- 1) réduire les courants dangereux s'écoulant dans le corps humain par isolation des masses et/ou en augmentant la résistivité de surface du sol;
- 2) réduire l'apparition de tensions de contact et de pas dangereuses par des restrictions physiques et/ou par des pancartes d'avertissement.

Il convient d'étudier avec soin le type et l'emplacement du système de protection contre la foudre dès le stade de la conception d'une nouvelle structure, afin de pouvoir ainsi tirer un parti maximal des parties conductrices de la structure. Cela facilite ainsi l'étude et la réalisation d'une installation intégrée, et permet par ailleurs d'en améliorer l'aspect esthétique global et d'accroître l'efficacité du système de protection contre la foudre à un coût et un travail de réalisation minimum.

L'accès à la terre et l'utilisation appropriée des armatures de la fouille pour la réalisation d'une prise de terre appropriée risquent de ne plus être possibles après le début des travaux de construction sur un site. Par conséquent, il convient que la résistivité et la nature du sol soient prises en compte dès le stade initial d'un projet. Ces informations sont essentielles pour l'étude d'un réseau de prises de terre, et peuvent influencer les travaux de conception des fondations de la structure.

Il est primordial que les concepteurs et les installateurs d'un système de protection contre la foudre, ainsi que les architectes et les entrepreneurs se consultent régulièrement afin d'obtenir les meilleurs résultats au moindre coût.

Si une protection contre la foudre doit être installée sur une structure existante, il convient de veiller à s'assurer que celle-ci est conforme aux principes de la présente norme. Il convient que la conception pour le type et l'emplacement d'un système de protection contre la foudre prennent en compte les caractéristiques de la structure existante.

PROTECTION CONTRE LA FOUDRE –

Partie 3: Dommages physiques sur les structures et risques humains

1 Domaine d'application

La présente partie de la EN 62305 spécifie les exigences pour la protection d'une structure contre les dommages physiques par un système de protection contre la foudre (SPF) et pour la protection contre les blessures d'êtres vivants dues aux tensions de contact et de pas à proximité d'un SPF (voir la EN 62305-1).

La présente norme est applicable:

- a) à la conception, l'installation, l'inspection et la maintenance d'un SPF des structures, sans limitation de leur hauteur;
- b) à la mise en œuvre de mesures pour la protection contre les blessures d'êtres vivants dues aux tensions de contact et de pas.

NOTE 1 Les exigences particulières pour un SPF de structures dangereuses pour leur environnement du fait d'un risque d'explosion sont à l'étude. Des informations supplémentaires sont fournies dans l'Annexe D pour une utilisation intermédiaire.

NOTE 2 La présente partie de la EN 62305 n'est pas destinée à la protection contre les défaillances dans des réseaux de puissance et de communication dues à des surtensions. Des exigences particulières à ce type de cas sont fournies dans la EN 62305-4.

NOTE 3 Des exigences particulières relatives à la protection contre la foudre des éoliennes sont mentionnées dans la CEI 61400-24 ^[2].

2 Références normatives

Les documents suivants sont indispensables pour appliquer cette norme. Pour les références datées, seules les éditions citées s'appliquent. Pour les références non datées, la dernière édition du document cité (y compris ses amendements) s'applique;

EN 50164-1	Composants de protection contre la foudre (CPF) – Partie 1: Prescriptions pour les composants de connexion
EN 50164-2	Composants de protection contre la foudre (CPF) – Partie 2: Caractéristiques des conducteurs et des électrodes de terre
EN 50164-3	Composants de protection contre la foudre (CPF) – Partie 3: Prescriptions pour les éclateurs d'isolement
EN 50164-4	Composants de protection contre la foudre (CPF) – Partie 4: Prescriptions pour les fixations de conducteur
EN 50164-5	Composants de protection contre la foudre (CPF) – Partie 5: Exigences pour les regards de visite et les joints d'étanchéité des électrodes de terre
EN 50164-6	Composants de protection contre la foudre (CPF) – Partie 6: Prescriptions pour les compteurs de coups de foudre
EN 50164-7	Composants de protection contre la foudre (CPF) – Partie 7: Prescriptions pour les enrichisseurs de terre

NOTE La série de normes EN 50164 mentionnée ci-dessus sera finalement remplacée par la série EN 62561. La série EN 50164 sera toujours en vigueur pendant 72 mois à partir de la date de publication de chaque partie de la série EN 50164.

EN 60079-10-1:2009	Atmosphères explosives – Partie 10-1: Classement des emplacements – Atmosphères explosives gazeuses (CEI 60079-10-1:2008)
EN 60079-10-2:2009	Atmosphères explosives – Partie 10-2: Classement des emplacements – Atmosphères explosives poussiéreuses (CEI 60079-10-2:2009)
EN 60079-14:2008	Atmosphères explosives – Partie 14: Conception, sélection et construction des installations électriques (CEI 60079-14:2007)
EN 61557-4	Sécurité électrique dans les réseaux de distribution basse tension de 1 000 V c.a. et 1 500 V c.c. – Dispositifs de contrôle, de mesure ou de surveillance de mesures de protection – Partie 4: Résistance de conducteurs de terre et d'équipotentialité (CEI 61557-4).
EN 61643-11	Parafoudres basse-tension – Partie 11: Parafoudres connectés aux systèmes de distribution basse tension – Prescriptions et essais. (CEI 61643-11)
EN 61643-21	Parafoudres basse tension – Partie 21: Parafoudres connectés aux réseaux de signaux et de télécommunications – Prescriptions de fonctionnement et méthodes d'essais (CEI 61643-21)
EN 62305-1:2011	Protection contre la foudre – Partie 1: Principes généraux (CEI 62305-1:2010, modifiée).
EN 62305-2:2011	Protection contre la foudre – Partie 2: Évaluation du risque (CEI 62305-2:2010, modifiée).
EN 62305-4:2011	Protection contre la foudre – Partie 4: Réseaux de puissance et de communication dans les structures (CEI 62305-4:2010 modifiée)
EN 62561 série 1)	Composants de système de protection contre la foudre (CSPF) (CEI 62561 série)
EN 62561-1 2)	Composants de système de protection contre la foudre (CSPF) – Partie 1: Exigences pour les composants de connexion (CEI 62561)
EN 62561-3 2)	Composants de système de protection contre la foudre (CSPF) – Partie 3: Exigences pour les éclateurs d'isolement (CEI 62561-3)
ISO 3864-1	Symboles graphiques – Couleurs de sécurité et signaux de sécurité – Partie 1: Principes de conception pour les signaux de sécurité sur les lieux de travail et dans les lieux publics

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants, dont certains ont déjà été cités dans la Partie 1, mais sont répétés ci-dessous pour faciliter la lecture, ainsi que ceux donnés dans les autres parties de la EN 62305, s'appliquent.

3.1

système de protection contre la foudre

SPF

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

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

1) En préparation.

2) À l'état de projet.



3.2

installation extérieure du système de protection contre la foudre

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

3.3

installation extérieure du système de protection contre la foudre isolée de la structure à protéger

système de protection contre la foudre dont le dispositif de capture et le conducteur de descente sont placés de manière que le trajet du courant de foudre n'ait aucun contact avec la structure à protéger

NOTE Dans un SPF isolé, des étincelles dangereuses entre le SPF et la structure sont évitées.

3.4

installation extérieure du système de protection contre la foudre non isolée de la structure à protéger

système de protection contre la foudre dont le dispositif de capture et le conducteur de descente sont placés de manière que le trajet du courant de foudre puisse être en contact avec la structure à protéger

3.5

installation intérieure du système de protection contre la foudre

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

3.6

dispositif de capture

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

3.7

système de conducteur de descente

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

3.8

conducteur de ceinturage (ceinturage d'équipotentialité)

conducteur constituant une boucle autour de la structure et réalisant les interconnexions des conducteurs de descente pour la répartition du courant de foudre

3.9

système de prise de terre

partie de l'installation extérieure de SPF destinée à conduire et à dissiper le courant de foudre à la terre

3.10

électrode de terre

élément ou ensemble d'éléments de la prise de terre assurant un contact électrique direct avec la terre et dissipant le courant de foudre dans cette dernière

3.11

prise de terre en boucle

électrode de terre formant une boucle fermée autour de la structure, au-dessous ou sur la surface du sol

3.12

prise de terre à fond de fouille

partie conductrice incorporée dans le sol sous les fondations d'un bâtiment ou, de préférence dans le béton des fondations d'un bâtiment, généralement en forme de boucle

[CEI 60050-826:2004, 826-13-08] ^[3]

3.13

résistance conventionnelle de terre

rapport entre les valeurs de crête de la tension et du courant dans la prise de terre qui, en général, ne se produisent pas en même temps

3.14

potentiel de la prise de terre

différence de potentiel entre la prise de terre et la terre lointaine

3.15

composant naturel du SPF

composant conducteur non installé spécifiquement pour la protection contre la foudre, mais pouvant être utilisé en complément à la mise en œuvre du SPF ou pouvant dans certains cas remplir la fonction d'une ou de plusieurs parties du SPF

NOTE Des exemples d'utilisation de ce terme incluent:

- des capteurs naturels;
- des descentes naturelles;
- des électrodes de terre naturelles.

3.16

composant de connexion

partie d'un SPF utilisée pour l'interconnexion des conducteurs ou pour la connexion aux installations métalliques telles que définies dans la série EN 50164

NOTE Ceci comprend également les composants de pont et les pièces de dilatation.

3.17

composant de fixation

partie d'un SPF utilisée pour la fixation des éléments du SPF à la structure à protéger telles que définies dans la série EN 50164

3.18

installations métalliques

éléments métalliques étendus qui sont présents dans la structure à protéger, pouvant écouler une partie du courant de foudre tels que canalisations, cages d'escaliers, guides d'ascenseur, conduits de ventilation, de chauffage et d'air conditionné, armatures d'acier interconnectées, parties de structures métalliques

3.19

parties conductrices extérieures

éléments métalliques étendus pénétrant dans ou quittant la structure à protéger telles que canalisations, écrans de câbles métalliques, conduits métalliques, etc. pouvant écouler une partie du courant de foudre

3.20

réseau de puissance

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



3.21

réseau de communication

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

3.22

réseaux internes

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

3.23

liaison équipotentielle de foudre

EB (*lightning equipotential bonding*)

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

3.24

barre d'équipotentialité

barre métallique sur laquelle les installations métalliques, les parties conductrices extérieures, les masses, les lignes de puissance et de communication et d'autres câbles peuvent être reliés à un SPF

3.25

conducteur d'équipotentialité

conducteur de connexion de parties conductrices séparées au SPF

3.26

armature d'acier interconnectée

armature d'acier à l'intérieur d'une structure en béton, considérée comme assurant une continuité électrique

3.27

étincelle dangereuse

décharge électrique engendrée par la foudre qui provoque des dommages physiques à l'intérieur de la structure à protéger

3.28

distance de séparation

distance entre deux parties conductrices telle qu'aucune étincelle dangereuse ne puisse apparaître

3.29

parafoudre

SPD (*surge protective device*)

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

3.30

borne d'essai

dispositif conçu de manière à faciliter les essais et mesures électriques des composants du système de protection contre la foudre

3.31

classe du système de protection contre la foudre

chiffre caractérisant la classification d'un SPF conformément au niveau de protection contre la foudre pour lequel il est conçu

3.32

concepteur de protection contre la foudre

spécialiste compétent et formé pour la conception du SPF

3.33

installateur de protection contre la foudre

personne compétente et qualifiée pour l'installation du SPF

3.34

structures avec risque d'explosion

structures contenant des matériaux solides explosifs ou des zones dangereuses comme cela est déterminé conformément à la CEI 60079-10-1 et à la CEI 60079-10-2

3.35

éclateur d'isolement

ISG (*isolating spark gap*)

composant avec distance de décharge pour isoler des parties électriquement conductrices d'installation

NOTE En cas d'impact de foudre, les parties d'installation font l'objet d'une connexion conductrice temporaire en réponse à la décharge.

3.36

interfaces d'isolement

dispositifs capables de réduire les chocs conduits sur les services pénétrant dans la ZPF

NOTE 1 Ces dispositifs comprennent des transformateurs d'isolement à écran mis à la terre entre les enroulements, les câbles à fibre optique non métalliques et les opto-isolateurs.

NOTE 2 Les caractéristiques de tenue d'isolement de ces dispositifs sont appropriées à la présente application de par leur nature intrinsèque ou par l'intermédiaire d'un parafoudre.

4 Système de protection contre la foudre (SPF)

4.1 Classe de SPF

Les caractéristiques d'un SPF sont déterminées par les caractéristiques de la structure à protéger et par le niveau de protection contre la foudre considéré.

Quatre classes de SPF (I à IV), tel qu'indiqué dans le Tableau 1, sont définies dans la présente norme correspondant aux niveaux de protection contre la foudre définis dans la EN 62305-1.

**Tableau 1 – Relation entre les niveaux de protection contre la foudre (NPF)
et la classe de SPF (voir EN 62305-1)**

NPF	Classe de SPF
I	I
II	II
III	III
IV	IV

Chaque classe de SPF est caractérisée par:

a) Les données dépendant de la classe de SPF:

- les paramètres de la foudre (voir Tableaux 3 et 4 de la EN 62305-1:2010);
- le rayon de la sphère fictive, la taille des mailles et l'angle de protection (voir 5.2.2);
- les distances préférables typiques entre les conducteurs de descente (voir 5.3.3);

- la distance de séparation pour éviter les étincelles dangereuses (voir 6.3);
- la longueur minimale des électrodes de terre (voir 5.4.2).

b) Les facteurs qui ne dépendent pas de la classe de SPF:

- les liaisons équipotentielle de foudre (voir 6.2);
- l'épaisseur minimale des tôles ou des canalisations métalliques des dispositifs de capture (voir 5.2.5);
- les matériaux et les conditions d'utilisation des SPF (voir 5.5.1);
- les matériaux, configurations et dimensions minimales des dispositifs de capture, des conducteurs de descente et des prises de terre (voir 5.6);
- les dimensions minimales des conducteurs de connexion (voir 6.2.2).

Les performances de chaque classe de SPF sont données dans l'Annexe B de la EN 62305-2:2010.

La classe du SPF prescrit doit être choisie selon la méthode d'évaluation des risques (voir la EN 62305-2).

4.2 Conception du SPF

Une conception optimale technique et économique d'un système de protection contre la foudre n'est possible que si les stades de sa conception et de sa construction sont corrélés avec ceux de la conception et de la construction de la structure à protéger. En particulier, il convient que la conception de la structure proprement dite utilise les parties métalliques de cette dernière comme parties du système de protection contre la foudre.

La conception de la classe de SPF et son emplacement pour des structures existantes doivent prendre en compte les contraintes de la situation présente.

La documentation de conception du SPF doit comprendre toutes les informations nécessaires pour assurer une installation complète et correcte. Pour des informations détaillées, voir l'Annexe E.

Il convient que la conception et l'installation du SPF soient réalisées par des concepteurs et des installateurs de SPF parfaitement formés et spécialisés (voir E.4.2).

4.3 Continuité des armatures d'acier dans des structures en béton armé

Les armatures d'acier de structures en béton armé sont considérées comme électriquement continues à condition que la majorité des barres verticales et horizontales d'interconnexion soient soudées ou liées de manière sûre. Les connexions des barres verticales doivent être soudées, fixées ou superposées avec un chevauchement minimal de 20 fois leurs diamètres, ou liées ou connectées de manière sûre (voir Figure E.5). Pour les structures nouvelles, les connexions entre les armatures doivent être spécifiées par le concepteur ou l'installateur en coopération avec le constructeur et l'ingénieur du génie civil.

Pour les structures utilisant du béton armé ferrailé (y compris les structures en béton armé préfabriqué et précontraint), la continuité électrique des barres d'armature doit être déterminée par mesure électrique entre la partie haute et la terre. Il convient que la valeur de la résistance électrique totale ne soit pas supérieure à 0,2 Ω , valeur mesurée à l'aide d'un appareil d'essai approprié à cette fin. Si cette valeur n'est pas obtenue, ou si la pratique ne permet pas d'effectuer ces essais, l'armature d'acier ne doit pas être utilisée comme conducteur de descente naturel, comme spécifié en 5.3.5. Dans ce cas, il est recommandé d'installer un conducteur de descente extérieur. Dans le cas de structures en béton armé préfabriqué, la continuité électrique de l'armature d'acier doit être réalisée entre chaque structure en béton préfabriqué adjacente.

NOTE 1 Pour des informations complémentaires relatives à la continuité des armatures d'acier de structures en béton armé, voir l'Annexe E.

NOTE 2 Lorsque l'établissement de la continuité des armatures en acier dans des structures en béton armé est prévu par serrage, il convient d'utiliser des fixations spécialement conçues, conformes à la EN 50164-1 et soumises aux essais conformément à cette norme.

NOTE 3 Il convient que les fixations nécessaires à la réalisation de la continuité des armatures d'acier en béton armé soient conformes à la EN 50164-1.

5 Installation extérieure de système de protection contre la foudre

5.1 Généralités

5.1.1 Application d'une installation extérieure de système de protection contre la foudre

L'installation extérieure de système de protection contre la foudre est destinée à intercepter les coups de foudre directs sur la structure, y compris les coups de foudre latéraux, à conduire le courant de foudre entre le point d'impact et la terre. Elle est également destinée à disperser ce courant dans la terre sans provoquer de dommages thermiques ou mécaniques, ni d'étincelles dangereuses pouvant entraîner des incendies ou des explosions.

5.1.2 Choix de l'installation extérieure de système de protection contre la foudre

Dans la plupart des cas, l'installation extérieure de système de protection contre la foudre peut être fixée sur la structure à protéger.

Il convient de considérer l'utilisation d'une installation extérieure de système de protection contre la foudre isolée lorsque les effets thermiques et explosifs au point d'impact ou sur les conducteurs évacuant le courant de foudre, peuvent entraîner des dommages sur la structure ou son contenu (voir Annexe E). Des exemples typiques incluent des structures avec un revêtement combustible, des structures avec des parois combustibles et des zones à risque d'explosion et d'incendie.

NOTE L'utilisation d'une installation extérieure de système de protection contre la foudre isolée peut être appropriée dans le cas de modifications prévues de la structure, de son contenu ou de son utilisation nécessitant des modifications du SPF.

Une installation extérieure de système de protection contre la foudre isolée peut également être considérée lorsque la sensibilité du contenu garantit la réduction du champ électromagnétique rayonné associé au courant de foudre s'écoulant dans le conducteur de descente.

5.1.3 Utilisation des composants naturels

Les composants naturels en matériaux conducteurs qui resteront toujours dans ou sur la structure et qui ne seront pas modifiés (par exemple, armatures d'acier interconnectées, structures métalliques, etc.) peuvent être utilisés comme parties d'un SPF.

Les autres composants naturels peuvent être considérés uniquement comme des compléments à un SPF.

NOTE Pour des informations complémentaires, voir l'Annexe E.

5.2 Dispositifs de capture

5.2.1 Généralités

La probabilité de pénétration d'un courant de foudre dans la structure est considérablement réduite par la présence d'un dispositif de capture convenablement conçu.



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

- a) tiges simples (y compris les mâts séparés);
- b) fils tendus;
- c) conducteurs maillés.

Pour se conformer à la présente norme, tous les types de dispositifs de capture doivent être positionnés conformément à 5.2.2, 5.2.3 et à l'Annexe A. Tous les types de dispositifs de capture doivent satisfaire entièrement à la présente norme.

Pour tous les types de dispositifs de capture, seules les dimensions physiques réelles des dispositifs de capture métalliques doivent être utilisées pour la détermination du volume protégé.

Il convient de connecter les tiges individuelles de capture au niveau du toit afin d'assurer le partage du courant.

Les dispositifs de capture radioactifs ne sont pas admis.

5.2.2 Emplacement

Les composants des dispositifs de capture installés sur une structure doivent être situés aux coins, aux points exposés et sur les arêtes (particulièrement aux points hauts de toutes façades) conformément à l'une ou à plusieurs des méthodes suivantes.

Des méthodes acceptables de détermination de l'emplacement du dispositif de capture incluent:

- la méthode de l'angle de protection;
- la méthode de la sphère fictive;
- la méthode des mailles.

La méthode de la sphère fictive est appropriée dans tous les cas.

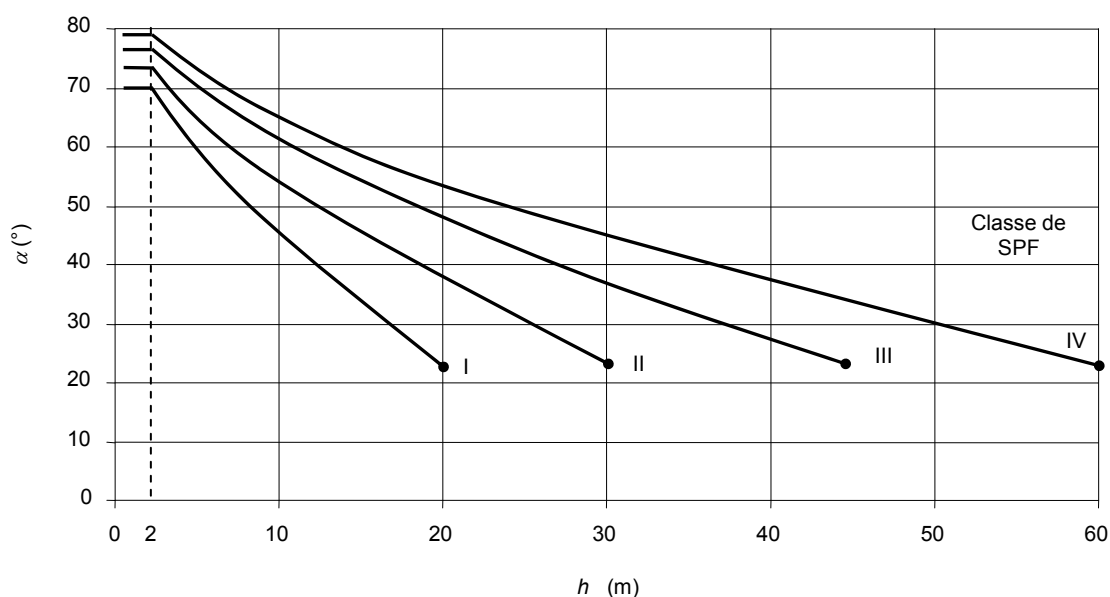
La méthode de l'angle de protection est appropriée pour les bâtiments à forme simple, mais elle est soumise aux limites de hauteur de dispositifs de capture indiquées dans le Tableau 2.

Lorsque des surfaces planes doivent être protégées, la méthode des mailles constitue une forme appropriée de protection.

Les valeurs de l'angle de protection, du rayon de la sphère fictive et des dimensions des mailles pour chaque classe de SPF sont données dans le Tableau 2 et à la Figure 1. Des informations détaillées pour l'emplacement du dispositif de capture sont données à l'Annexe A.

Tableau 2 – Valeurs maximales du rayon de la sphère fictive, de la taille des mailles et de l'angle de protection correspondant à la classe de SPF

Classe de SPF	Méthode de protection		
	Rayon de sphère fictive r m	Dimension des mailles w_m m	Angle de protection α°
I	20	5 × 5	Voir Figure 1 ci-dessous
II	30	10 × 10	
III	45	15 × 15	
IV	60	20 × 20	



IEC 2646/10

NOTE 1 Non applicable au-delà des valeurs marquées *. Seules les méthodes de la sphère fictive et des mailles sont applicables dans ces cas.

NOTE 2 h est la hauteur du dispositif de capture au-dessus du plan de référence de la zone à protéger.

NOTE 3 L'angle ne changera pas pour des valeurs de h inférieures à 2 m.

Figure 1 – Angle de protection correspondant à la classe de SPF

5.2.3 Dispositifs de capture contre les coups de foudre latéraux sur les structures hautes

5.2.3.1 Structures de hauteur inférieure à 60 m

La recherche indique que la probabilité de coups de foudre de faible amplitude frappant le côté vertical d'une structure d'une hauteur inférieure à 60 m est suffisamment faible pour qu'il ne soit pas nécessaire d'en tenir compte. Les toitures et les saillies horizontales doivent être protégées conformément à la classe de SPF déterminée par les calculs de risque définis dans la EN 62305-2.

5.2.3.2 Structures de hauteur égale ou supérieure à 60 m

Pour des structures de hauteur supérieure à 60 m, des éclairs peuvent frapper la partie latérale, notamment les points exposés, les coins et les arêtes des surfaces.

NOTE 1 Le risque lié à ces éclairs est généralement faible, en raison du faible pourcentage de coups de foudre latéraux sur l'ensemble des impacts sur des structures élevées, les paramètres des coups de foudre étant beaucoup plus faibles que ceux des éclairs frappant le sommet des structures. Toutefois, les matériels électriques et électroniques installés sur les parois à l'extérieur des structures peuvent être détruits même avec des coups de foudre ayant de faibles valeurs de crête de courant.

Un dispositif de capture doit être installé pour la protection de la partie supérieure de structures élevées (c'est-à-dire typiquement pour les 20 % supérieurs de la hauteur de la structure lorsque cette partie a une hauteur supérieure à 60 m) et des matériels installés en partie haute (voir Annexe A).

Les règles relatives à l'emplacement des dispositifs de capture sur les parties supérieures d'une structure doivent satisfaire au moins aux exigences applicables au NPF IV en soulignant l'importance de l'emplacement de ces dispositifs aux coins, arêtes et saillies importantes (telles que balcons, plates-formes d'observation, etc.).

L'exigence relative aux dispositifs de capture applicable à la partie latérale d'une structure élevée peut être satisfaite par la présence de matériaux métalliques extérieurs tels qu'un revêtement métallique ou des murs rideaux métalliques, à condition qu'ils satisfassent aux exigences de taille minimales données dans le Tableau 3. L'exigence relative aux dispositifs de capture peut également inclure l'utilisation de conducteurs de descente extérieurs situés sur les arêtes verticales de la structure lorsque cela n'est pas prévu par les conducteurs métalliques extérieurs naturels.

Les dispositifs de capture installés ou naturels qui satisfont à ces exigences peuvent utiliser les conducteurs de descente installés ou être connectés, par une liaison appropriée, à des conducteurs de descente naturels tels que l'armature d'acier de la structure ou la partie métallique du béton armé présentant une continuité électrique conforme aux exigences de 5.3.5.

NOTE 2 L'utilisation d'un dispositif de capture et de conducteurs de descente naturels adaptés est encouragée.

5.2.4 Mise en œuvre

Les dispositifs de capture d'un SPF non isolé de la structure à protéger peuvent être installés comme suit:

- si la toiture est en matériau non combustible, les conducteurs de capture peuvent être installés sur la surface de la toiture;
- si la toiture est en matériau facilement combustible, une attention toute particulière doit être accordée à la distance entre les conducteurs de capture et le matériau. Pour des toits en chaume ne comportant aucune barre en acier pour le montage du peigne, une distance d'au moins 0,15 m est appropriée. Pour d'autres matériaux combustibles, une distance non inférieure à 0,10 m est considérée comme appropriée;
- des parties facilement combustibles de la structure à protéger ne doivent pas rester en contact direct avec les composants d'une installation extérieure de système de protection contre la foudre et ne doivent pas rester directement sous une membrane métallique pouvant être percée par un coup de foudre (voir 5.2.5).

Il doit être également tenu compte des membranes moins combustibles telles que des feuillures en bois.

NOTE S'il est probable que de l'eau puisse s'accumuler sur une toiture plate, il convient d'installer les dispositifs de capture au-dessus de la hauteur d'eau maximale probable.

5.2.5 Composants naturels

Il convient de considérer les parties suivantes d'une structure comme dispositifs de capture naturels et comme partie intégrante d'un SPF conformément à 5.1.3.

a) Les tôles métalliques recouvrant la structure à protéger, à condition que

- la continuité électrique entre les différentes parties soit réalisée de façon durable (par exemple, par brasage, soudage, sertissage, vissage ou boulonnage),
- l'épaisseur des tôles métalliques ne soit pas inférieure à la valeur t' figurant dans le Tableau 3, si la prévention de toute perforation des tôles ou la prise en compte de l'inflammation de tous matériaux facilement combustibles placés dessous ne constitue pas un facteur important,
- l'épaisseur des tôles métalliques ne soit pas inférieure à la valeur t figurant dans le Tableau 3, si des mesures de prévention contre les perforations ou la prise en considération des problèmes de points chauds se révèlent nécessaires,

NOTE 1 Lorsque des problèmes de points chauds ou d'inflammation peuvent survenir, il convient de vérifier que l'élévation de température de la surface intérieure au point d'impact ne constitue pas un danger. Les problèmes de points chauds ou d'inflammation peuvent être ignorés lorsque les tôles métalliques se trouvent à l'intérieur d'une ZPF0_B ou de classe supérieure.

- elles ne soient pas revêtues de matériau isolant.

Tableau 3 – Epaisseur minimale des tôles ou canalisations métalliques des dispositifs de capture

Classe de SPF	Matériau	Epaisseur ^a <i>t</i> mm	Epaisseur ^b <i>t'</i> mm
I à IV	Plomb	–	2,0
	Acier (inoxydable, galvanisé)	4	0,5
	Titane	4	0,5
	Cuivre	5	0,5
	Aluminium	7	0,65
	Zinc	–	0,7
^a <i>t</i> prévient toute perforation. ^b <i>t'</i> uniquement pour les tôles métalliques s'il n'est pas important de prévenir les problèmes de perforation, de points chauds ou d'inflammation.			

- b) Les composants métalliques de toiture (fermes, armatures d'acier interconnectées, etc.) recouverts de matériaux non métalliques, à condition que tout dommage à ces derniers soit acceptable.
- c) Les parties métalliques telles que décorations, gouttières, canalisations, rambardes, etc. dont la section n'est pas inférieure à celle qui est spécifiée pour les composants normaux de dispositifs de capture.
- d) Les canalisations et réservoirs métalliques sur la toiture, à condition que l'épaisseur et la section de leur matériau de construction soient conformes au Tableau 6.
- e) Les canalisations et réservoirs métalliques de mélanges facilement combustibles ou explosifs, à condition qu'ils soient réalisés en un matériau d'épaisseur non inférieure à la valeur appropriée de *t* figurant dans le Tableau 3, et que l'élévation de température de la surface intérieure au point d'impact ne constitue pas un danger (pour des informations détaillées, voir l'Annexe D).

Si les conditions d'épaisseur ne sont pas satisfaites, les canalisations et réservoirs doivent être intégrés dans la structure à protéger.

Les canalisations écoulant des mélanges facilement combustibles ou explosifs ne doivent pas être considérées comme un composant naturel des dispositifs de capture si le joint des brides n'est pas métallique ou si les brides ne sont pas connectées entre elles de façon appropriée.

NOTE 2 Une légère couche de peinture protectrice ou environ 1 mm d'asphalte ou 0,5 mm de PVC n'est pas considérée comme une isolation. Des informations détaillées sont données en E.5.3.4.1 et E.5.3.4.2.

5.3 Conducteurs de descente

5.3.1 Généralités

Pour réduire la probabilité de dommages dus à la circulation du courant de foudre dans le SPF, les conducteurs de descente doivent être disposés de manière que, entre le point d'impact et la terre:

- a) le courant suive plusieurs trajets en parallèle;
- b) la longueur de ces trajets soit réduite au minimum;
- c) une liaison équipotentielle entre les parties conductrices de la structure soit réalisée conformément aux exigences de 6.2.

NOTE 1 La connexion latérale des conducteurs de descente est considérée comme une bonne pratique.



La géométrie des conducteurs de descente et de ceinturage affecte la distance de séparation (voir 6.3).

NOTE 2 L'installation du plus grand nombre possible de conducteurs de descente, à intervalles égaux autour du périmètre, interconnectés par des conducteurs de ceinturage, réduit la probabilité d'étincelles dangereuses et facilite la protection des installations internes (voir EN 62305-4). Cette condition est satisfaite dans les structures d'armature métalliques et en béton armé pour lesquelles l'interconnexion en acier assure une continuité électrique.

Des valeurs typiques de la distance préférentielle entre les conducteurs de descente sont données dans le Tableau 4.

Des informations complémentaires sur le partage du courant de foudre entre les conducteurs de descente sont données à l'Annexe C.

5.3.2 Emplacement d'un SPF isolé

L'emplacement doit être le suivant:

- a) Si le dispositif de capture est constitué de tiges sur des mâts séparés (ou un seul mât) non constituées de métal ou ne comportant pas une armature d'acier interconnectée, au moins un conducteur de descente est nécessaire pour chaque mât. Aucun conducteur de descente supplémentaire n'est nécessaire pour les mâts en métal ou comportant une armature d'acier interconnectée.

NOTE Dans plusieurs pays, l'utilisation du béton armé comme partie du SPF n'est pas admise.

- b) Si le dispositif de capture est constitué de fils tendus (ou d'un seul fil), au moins un conducteur de descente est nécessaire à chaque extrémité de fil porteur.
- c) Si le dispositif de capture constitue un réseau de conducteurs, au moins un conducteur de descente est nécessaire à chaque extrémité de fil porteur.

5.3.3 Emplacement d'un SPF non isolé

Pour chaque SPF non isolé, le nombre de conducteurs de descente ne doit pas être inférieur à deux. Il convient de les répartir autour du périmètre de la structure à protéger, en fonction des contraintes architecturales et pratiques.

Des distances égales entre les conducteurs de descente autour du périmètre sont préférables. Des valeurs typiques de la distance entre les conducteurs de descente sont données dans le Tableau 4.

NOTE La valeur de la distance entre les conducteurs de descente est corrélée avec la distance de séparation donnée en 6.3.

Tableau 4 – Valeurs typiques préférables de la distance entre les conducteurs de descente selon la classe de SPF

Classe de SPF	Distances typiques m
I	10
II	10
III	15
IV	20

Il convient d'installer, dans toute la mesure du possible, un conducteur de descente à chaque angle exposé de la structure.

5.3.4 Mise en œuvre

Les conducteurs de descente doivent être disposés de manière à être, dans la mesure où la pratique le permet, en continuité directe avec les conducteurs de capture.

Les conducteurs de descente doivent être installés de façon rectiligne et verticale, de manière à produire le trajet le plus court et le plus direct possible à la terre. La formation de boucles doit être évitée. Si cela s'avère impossible, la distance, s , mesurée directement entre deux points du conducteur et la longueur, l , du conducteur entre ces deux points (voir Figure 2) doivent être conformes à 6.3.

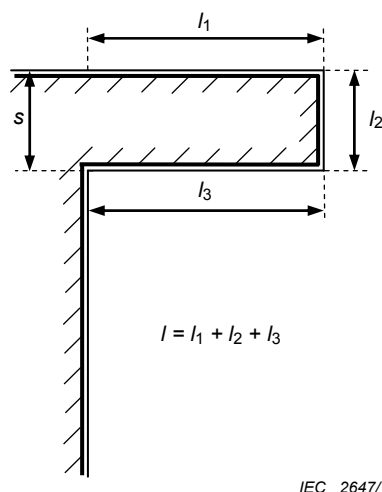


Figure 2 – Boucle d'un conducteur de descente

Les conducteurs de descente, même s'ils sont recouverts de matériau isolant, ne doivent pas être installés dans les gouttières ou les tuyaux de descente.

NOTE Les effets de l'humidité dans les gouttières provoquent une forte corrosion du conducteur de descente.

Il est recommandé de placer les conducteurs de descente de manière à respecter une distance de séparation conforme à 6.3 entre ceux-ci et les portes et fenêtres éventuelles.

Les conducteurs de descente d'un SPF non isolé de la structure à protéger peuvent être installés de la manière suivante:

- si le mur est réalisé en matériau non combustible, les conducteurs de descente peuvent être positionnés sur la surface ou dans le mur;
- si le mur est réalisé en matériau facilement combustible, les conducteurs de descente peuvent être positionnés directement sur la surface du mur, à condition que leur élévation de température due à l'écoulement du courant de foudre ne soit pas dangereuse pour le matériau du mur;
- si le mur est réalisé en matériau facilement combustible et si l'élévation de température des conducteurs de descente est dangereuse, ils doivent être placés de manière que la distance entre eux et le mur soit toujours supérieure à 0,1 m. Des crochets de fixation peuvent être en contact avec le mur.

Lorsque la distance entre un conducteur de descente et un matériau combustible ne peut être respectée, la section du conducteur en acier ou d'un conducteur de capacité thermique équivalente ne doit pas être inférieure à 100 mm².

5.3.5 Composants naturels

Les éléments suivants de la structure peuvent être considérés comme des conducteurs de descente naturels:

- a) les installations métalliques, à condition que
 - la continuité électrique entre les différents éléments soit réalisée de façon durable, conformément à 5.5.3,

- leurs dimensions soient au moins égales à celles qui sont spécifiées pour les conducteurs de descente normaux dans le Tableau 6.

Les canalisations transportant des mélanges facilement combustibles ou explosifs ne doivent pas être considérées comme des composants naturels de conducteur de descente si le joint entre brides n'est pas métallique ou si les brides ne sont pas connectées entre elles de façon appropriée.

NOTE 1 Les installations métalliques peuvent être revêtues de matériau isolant.

- b) la partie métallique de l'armature d'acier en béton armé de la structure, présentant une continuité électrique;

NOTE 2 Pour des éléments préfabriqués en béton armé, il est important de réaliser des points d'interconnexion entre les éléments de renforcement. Il est également essentiel que le béton armé intègre une liaison conductrice entre les points d'interconnexion. Il convient de connecter les parties individuelles « in situ » lors de l'assemblage (voir Annexe E).

NOTE 3 Dans le cas du béton précontraint, il convient de veiller au risque d'effets mécaniques inadmissibles dus au courant de foudre ou au raccordement au système de protection contre la foudre.

- c) l'armature d'acier interconnectée de la structure;

NOTE 4 Les conducteurs de ceinturage ne sont pas nécessaires si l'armature métallique des structures en acier ou si l'armature d'acier interconnectée de la structure est utilisée comme conducteurs de descente.

- d) les éléments de façade, profilés et supports des façades métalliques, à condition que

- leurs dimensions soient conformes aux exigences relatives aux conducteurs de descente (voir 5.6.2) et que l'épaisseur des tôles ou des canalisations métalliques ne soit pas inférieure à 0,5 mm,
- leur continuité électrique dans le sens vertical soit conforme aux exigences de 5.5.3.

NOTE 5 Pour des informations complémentaires, voir l'Annexe E.

5.3.6 Bornes d'essai

Lors de la connexion de la prise de terre, il convient d'équiper chaque conducteur de descente d'une borne d'essai à l'exception des conducteurs de descente naturels liés à des prises de terre à fond de fouille.

La borne doit pouvoir être démontée à l'aide d'un outil, à des fins de mesure. Elle doit toutefois rester fermée en utilisation normale.

5.4 Réseau de prise de terre

5.4.1 Généralités

Afin d'assurer l'écoulement du courant de foudre dans la terre (comportement à haute fréquence) tout en minimisant des surtensions potentiellement dangereuses, la forme et les dimensions du réseau de prises de terre constituent les critères importants. Généralement, une faible résistance de terre (si possible inférieure à 10 Ω lors d'une mesure à basse fréquence) est recommandée.

Du point de vue de la protection contre la foudre, un réseau de prises de terre unique et intégré à la structure est préférable et assure une protection complète (c'est-à-dire protection contre la foudre, protection des réseaux de puissance et de communication).

Les réseaux de prises de terre doivent être interconnectés conformément aux exigences de 6.2.

NOTE 1 Les conditions de séparation et de liaison d'autres réseaux de prises de terre sont habituellement déterminées par les services nationaux compétents.

NOTE 2 De sérieux problèmes de corrosion peuvent apparaître lorsque des réseaux de prises de terre constitués de matériaux différents sont connectés entre eux.

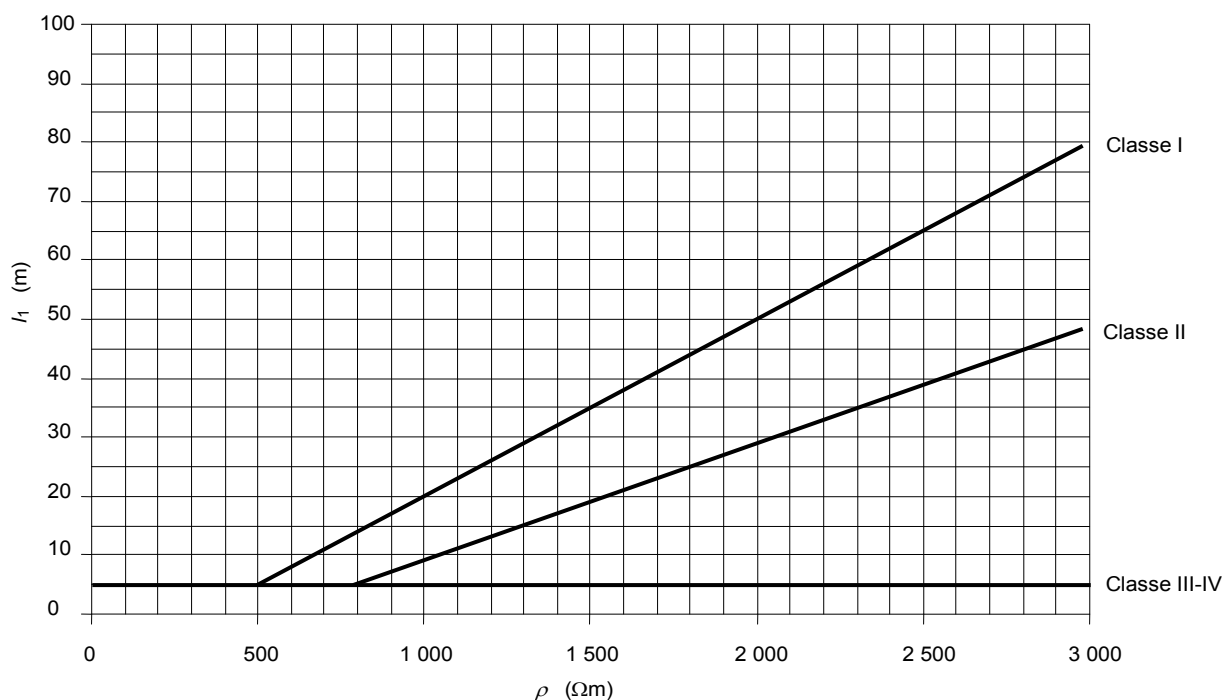
5.4.2 Dispositions de prise de terre dans les conditions générales

Pour les réseaux de prises de terre, deux types de base de dispositions de prise de terre s'appliquent.

5.4.2.1 Disposition de type A

Ce type de disposition comporte des électrodes de terre radiales ou verticales, installées à l'extérieur de la structure à protéger, connectées à chaque conducteur de descente ou à chaque prise de terre à fond de fouille ne formant pas une boucle fermée.

Pour les dispositions de type A, le nombre total d'électrodes de terre doit être au moins de deux.



IEC 2648/10

NOTE Les classes III et IV sont indépendantes de la résistivité du sol.

Figure 3 – Longueur minimale l_1 de chaque électrode de terre selon la classe de SPF

La longueur minimale de chaque électrode de terre à la base de chaque conducteur de descente est

- l_1 pour les électrodes radiales, ou
- $0,5 l_1$ pour les électrodes verticales (ou inclinées),

où l_1 est la longueur minimale des électrodes radiales indiquée dans la partie correspondante de la Figure 3.

Pour les électrodes combinées (verticales ou radiales), la longueur totale doit être prise en compte.

Les longueurs minimales telles qu'indiquées à la Figure 3 peuvent ne pas être considérées, à condition qu'une prise de terre de résistance inférieure à 10 Ω soit réalisée (mesurée à une fréquence différente de la fréquence industrielle et de son multiple afin d'éviter des interférences).

NOTE 1 Lorsque les exigences susmentionnées ne peuvent être satisfaites, une disposition de prise de terre de type B doit être utilisée.

NOTE 2 Une réduction de la résistance de terre par l'extension des électrodes de terre peut être réalisée jusqu'à une longueur de 60 m. L'utilisation d'électrodes de terre de type B ou de composés facilitant la résistance de terre est recommandée dans les sols dont la résistivité est supérieure à 3 000 Ωm .

NOTE 3 Pour des informations complémentaires, voir l'Annexe E.

5.4.2.2 Disposition de type B

Ce type de disposition comporte, soit un conducteur de ceinturage extérieur à la structure à protéger, en contact avec le sol sur au moins 80 % de sa longueur totale, soit une prise de terre à fond de fouille formant une boucle fermée. Ces électrodes de terre peuvent également être maillées.

NOTE Bien que 20 % de sa surface puissent ne pas être en contact avec le sol, le conducteur de ceinturage doit toujours être entièrement connecté sur toute sa longueur.

Pour la prise de terre en boucle (ou une prise de terre à fond de fouille), le rayon géométrique moyen r_e de la surface délimitée par ladite prise (ou la prise de terre à fond de fouille) ne doit pas être inférieur à la valeur de l_1 :

$$r_e \geq l_1 \quad (1)$$

où l_1 est représentée à la Figure 3 selon les classes I, II, III et IV de SPF.

Lorsque la valeur prescrite de l_1 est supérieure à la valeur appropriée de r_e , des électrodes radiales ou verticales (ou inclinées) supplémentaires doivent être ajoutées, les longueurs individuelles l_r (horizontales) et l_v (verticales) étant obtenues à l'aide des formules suivantes:

$$l_r = l_1 - r_e \quad (2)$$

et
$$l_v = (l_1 - r_e) / 2 \quad (3)$$

Il est recommandé que le nombre d'électrodes ne soit pas inférieur au nombre de conducteurs de descente, avec un minimum de deux.

Il convient de connecter les électrodes complémentaires à la prise de terre en boucle au niveau des conducteurs de descente et, dans toute la mesure du possible, de manière équidistante.

5.4.3 Installation des électrodes de terre

Il convient que la prise de terre en boucle (disposition de type B) soit, de préférence, enterrée à au moins 0,5 m de profondeur et à environ 1 m des murs extérieurs.

Les électrodes de terre (disposition de type A) doivent être installées à au moins 0,5 m de profondeur et réparties aussi uniformément que possible, de manière à réduire au minimum les effets de couplage électrique dans le sol.

NOTE 1 Si l'électrode de terre de type A est positionnée dans une enveloppe de contrôle elle-même située à l'intérieur d'un revêtement à haute résistance ou dans du béton contigu, l'exigence d'une distance de 0,5 m peut alors ne pas être prise en compte.

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

La profondeur d'enfouissement et le type des électrodes de terre doivent permettre de réduire au minimum les effets de la corrosion, de l'assèchement et du gel du sol, et de ce fait stabiliser la valeur de la résistance conventionnelle de terre. Il convient que la partie supérieure d'une électrode de terre verticale égale à la profondeur du sol gelé ne soit pas considérée comme efficace dans des conditions de gel.

NOTE 2 Ainsi, il convient d'ajouter une longueur de 0,5 m, pour toute électrode verticale, à la valeur de la longueur l_1 calculée en 5.4.2.1 et en 5.4.2.2.

Dans la roche vive nue, une disposition de prise de terre de type B est recommandée.

Pour des structures avec réseaux de communication extensifs ou à risque d'incendie élevé, une disposition de prise de terre de type B est préférable.

5.4.4 Electrodes de terre naturelles

Il convient de préférence d'utiliser les armatures d'acier interconnectées des fondations en béton conformément à 5.6, ou d'autres structures métalliques souterraines appropriées, comme électrode de terre. Lorsque l'armature métallique du béton est utilisée comme électrode de terre, un soin particulier doit être apporté aux interconnexions, pour éviter un éclatement mécanique du béton.

NOTE 1 Dans le cas du béton précontraint, il convient de prendre en considération les conséquences du passage des courants de décharge de foudre qui peuvent produire des contraintes mécaniques inadmissibles.

NOTE 2 En cas d'utilisation d'une prise de terre à fond de fouille, un renforcement de la résistance de terre à long terme est possible.

NOTE 3 Des informations plus détaillées sur ce sujet sont données dans l'Annexe E.

5.5 Composants

5.5.1 Généralités

Les composants d'un SPF doivent résister aux effets électromagnétiques du courant de foudre et aux contraintes accidentelles prévisibles sans être endommagés. Ceci peut être réalisé en choisissant des composants ayant été soumis à essai avec succès conformément à la série future de la EN 50164.

Tous les composants doivent être conformes à la série EN 50164.

Les composants d'un SPF doivent être réalisés à partir de matériaux donnés dans le Tableau 5 ou d'autres matériaux équivalents présentant des caractéristiques de performances mécaniques, électriques et chimiques (corrosion) équivalentes.

NOTE Des composants non métalliques peuvent être utilisés pour les fixations.



Tableau 5 – Matériaux des SPF et conditions d'utilisation ^a

Matériau	Utilisation			Corrosion		
	Dans l'air ambiant	En terre	Dans le béton	Résistance	Renforcée par	Peut être supprimée par couplage galvanique avec
Cuivre	Massif Torsadé	Massif Torsadé Sous forme de revêtement	Massif Torsadé Sous forme de revêtement	Correcte dans de nombreux environnements	Composés sulfurés Matériaux organiques	–
Acier galvanisé à chaud ^{c, d, e}	Massif Torsadé ^b	Massif	Massif Torsadé ^b	Acceptable dans l'air, le béton et les sols simples	Teneur élevée en chlorures	Cuivre
Acier avec dépôt électrolytique de cuivre	Massif	Massif	Massif	Correcte dans de nombreux environnements	Composés sulfurés	
Acier inoxydable	Massif Torsadé	Massif Torsadé	Massif Torsadé	Correcte dans de nombreux environnements	Teneur élevée en chlorures	–
Aluminium	Massif Torsadé	Inapproprié	Inapproprié	Correcte dans des atmosphères contenant de faibles concentrations de soufre et de chlorure	Solutions alcalines	Cuivre
Plomb ^f	Massif Sous forme de revêtement	Massif Sous forme de revêtement	Inapproprié	Correcte dans des atmosphères contenant une forte concentration de sulfates	Sols acides	Cuivre Acier inoxydable

^a Le présent tableau fournit uniquement des indications générales. Dans des circonstances particulières, des considérations sur l'immunité contre la corrosion plus attentives sont requises (voir Annexe E).

^b Les conducteurs torsadés sont plus vulnérables à la corrosion que les conducteurs massifs. Les conducteurs torsadés sont également vulnérables lorsqu'ils entrent ou sortent du béton ou du sol. C'est la raison pour laquelle l'acier galvanisé torsadé n'est pas recommandé dans le sol.

^c L'acier galvanisé peut être corrodé dans des sols argileux ou humides.

^d Il convient que l'acier galvanisé dans le béton ne se prolonge pas dans le sol en raison de la corrosion possible de l'acier juste à l'extérieur du béton.

^e Il convient de ne pas utiliser l'acier galvanisé en contact avec l'armature d'acier dans le béton dans les zones côtières où l'eau souterraine peut contenir du sel.

^f L'utilisation de plomb dans le sol est souvent bannie ou limitée en raison des préoccupations d'environnement.

5.5.2 Fixations

Les dispositifs de capture et les conducteurs de descente doivent être solidement fixés, de manière à empêcher toute rupture ou tout desserrage des conducteurs (voir Annexe D de la EN 62305-1:2010), du fait des forces électrodynamiques ou des efforts mécaniques accidentels (par exemple, vibrations, glissement de plaques de neige, expansion thermique, etc.).

NOTE Les distances recommandées entre les fixations sont indiquées dans le Tableau E.1.

5.5.3 Connexions

Le nombre des raccords le long des conducteurs doit être réduit au minimum. Les raccords doivent être fixés par des méthodes telles que brasage, soudage, serrage, sertissage, vissage ou boulonnage.

Pour y parvenir, les connexions des armatures métalliques dans des structures en béton armé doivent être conformes à 4.3 et doivent satisfaire aux exigences et essais définis dans l'EN 50164-1.

5.6 Matériaux et dimensions

5.6.1 Matériaux

Les matériaux et leurs dimensions doivent être choisis en tenant compte de la possibilité de corrosion de la structure à protéger ou du SPF.

5.6.2 Dimensions

Les matériaux, les configurations et les sections minimales des conducteurs de capture, des tiges, des conducteurs de descente et des électrodes de terre guidées sont donnés dans le Tableau 6 et doivent être conformes aux exigences et aux essais, conformément à la série EN 50164.

Les matériaux, les configurations et les dimensions minimales des électrodes de terre sont données dans le Tableau 7. Elles doivent satisfaire aux exigences et essais conformes à la future série de la EN 50164.

Tableau 6 – Matériau, configuration et section minimale des conducteurs de capture, des tiges, des électrodes de terre guidées et des conducteurs de descente ^a

Matériau	Configuration	Section mm ²
Cuivre Cuivre étamé	Plaque pleine	50
	Rond plein ^b	50
	Torsadé ^b	50
	Rond plein ^c	176
Aluminium	Plaque pleine	70
	Rond plein	50
	Torsadé	50
Alliage d'aluminium	Plaque pleine	50
	Rond plein	50
	Torsadé	50
	Rond plein ^c	176
Alliage d'aluminium à revêtement en cuivre	Rond plein	50
Acier galvanisé à chaud	Plaque pleine	50
	Rond plein	50
	Torsadé	50
	Rond plein ^c	176
Acier à revêtement en cuivre	Rond plein	50
	Plaque pleine	50
Acier inoxydable	Plaque pleine ^d	50
	Rond plein ^d	50
	Torsadé	70
	Rond plein ^c	176

^a Les caractéristiques mécaniques et électriques, ainsi que les propriétés de résistance à la corrosion doivent satisfaire aux exigences de la future série de la EN 50164.

^b 50 mm² (diamètre de 8 mm) peut être réduit à 25 mm² dans certaines applications où la résistance mécanique ne constitue pas une exigence essentielle. Il convient dans ce cas de prendre en considération la réduction de l'espacement entre les fixations.

^c Applicable aux tiges et aux électrodes de terre guidées. Pour les tiges pour lesquelles la contrainte mécanique telle que la charge due au vent n'est pas critique, une tige d'un diamètre de 9,5 mm et d'une longueur de 1 m peut être utilisée.

^d Si les considérations thermiques et mécaniques constituent des éléments importants, il convient alors de porter ces valeurs à 75 mm².

Tableau 7 – Matériau, configuration et dimensions minimales des électrodes de terre ^{a, e}

Matériau	Configuration	Dimensions		
		Diamètre de la tige de terre mm	Conducteur de terre mm ²	Plaque de terre mm
Cuivre Cuivre étamé	Torsadé		50	
	Rond plein	15	50	
	Plaque pleine		50	
	Canalisation	20		
	Plaque pleine			500 × 500
	Plaque en treillis ^c			600 × 600
Acier galvanisé à chaud	Rond plein	14	78	
	Canalisation	25		
	Plaque pleine		90	
	Plaque pleine			500 × 500
	Plaque en treillis ^c			600 × 600
	Profil	^d		
Acier nu ^b	Torsadé		70	
	Rond plein		78	
	Plaque pleine		75	
Acier revêtu de cuivre	Rond plein	14	50	
	Plaque pleine		90	
Acier inoxydable	Rond plein	15	78	
	Plaque pleine		100	
^a Les caractéristiques mécaniques et électriques, ainsi que les propriétés de résistance à la corrosion doivent satisfaire aux exigences de la future série de la EN 50164. ^b Doit être encastré dans le béton sur une profondeur minimale de 50 mm. ^c Plaque en treillis avec une longueur totale minimale du conducteur de 4,8 m. ^d Différents profils sont admis avec une section de 290 mm ² et une épaisseur minimale de 3 mm, par exemple, profil transversal. ^e Dans le cas d'un réseau de terre à fond de fouille à disposition de type B, l'électrode de terre doit être connectée de manière appropriée au moins tous les 5 m, à l'armature d'acier.				

6 Installation intérieure de système de protection contre la foudre

6.1 Généralités

L'installation intérieure de système de protection contre la foudre doit empêcher l'apparition d'étincelles dangereuses dans la structure à protéger, dues à l'écoulement du courant de foudre dans l'installation extérieure de système de protection contre la foudre ou dans les autres parties conductrices de la structure.

Les étincelles dangereuses peuvent apparaître entre l'installation extérieure de système de protection contre la foudre et d'autres composants tels que:

- les installations métalliques;

- les réseaux internes;
- les parties conductrices extérieures et les lignes connectées à la structure.

NOTE 1 Une étincelle apparaissant dans la structure avec un danger d'explosion est toujours dangereuse. Dans ce cas, des mesures complémentaires de protection sont requises et sont à l'étude (voir Annexe D).

NOTE 2 Pour la protection contre les surtensions dans les réseaux internes, se reporter à la EN 62305-4.

Les étincelles dangereuses entre les différents éléments peuvent être évitées à l'aide

- d'une liaison d'équipotentialité conformément à 6.2, ou
- d'une isolation électrique entre les éléments conformément à 6.3.

6.2 Liaison équipotentielle de foudre

6.2.1 Généralités

L'équipotentialité est réalisée par l'interconnexion du SPF avec

- des installations métalliques;
- des réseaux internes;
- les parties conductrices extérieures et les lignes connectées à la structure.

Lorsqu'une liaison équipotentielle de foudre est réalisée pour des réseaux internes, une partie du courant de foudre peut s'écouler à l'intérieur de ces réseaux et cet aspect doit être pris en compte.

Les moyens d'interconnexion peuvent être

- les conducteurs d'équipotentialité, lorsque la continuité électrique n'est pas assurée par liaison naturelle,
- les parafoudres, lorsque des connexions directes avec des conducteurs d'équipotentialité ne sont pas réalisables,
- les éclateurs d'isolement, lorsque des connexions directes avec les conducteurs d'équipotentialité ne sont pas admises.

La façon dont la liaison équipotentielle de foudre est réalisée est importante et doit être concertée avec l'opérateur du réseau de télécommunication, le distributeur du réseau de puissance et de canalisations de gaz, ainsi que d'autres opérateurs ou autorités concernés, du fait d'éventuelles exigences conflictuelles.

Les parafoudres doivent être installés de manière à pouvoir être inspectés.

NOTE 1 Lorsqu'un système de protection contre la foudre est installé, des armatures métalliques extérieures à la structure à protéger peuvent être affectées. Il convient d'en tenir compte dans la conception de ces systèmes. Une liaison équipotentielle de foudre pour les armatures métalliques extérieures peut également se révéler nécessaire.

NOTE 2 Il convient d'intégrer la liaison équipotentielle de foudre et de la coordonner avec toute autre liaison équipotentielle dans la structure.

6.2.2 Liaison équipotentielle de foudre pour les installations métalliques

Dans le cas d'une installation extérieure de système de protection contre la foudre isolée, une liaison équipotentielle de foudre doit être réalisée uniquement au niveau du sol.

Dans le cas d'une installation extérieure de système de protection contre la foudre non isolée, la liaison équipotentielle de foudre doit être réalisée dans les emplacements suivants:

- a) au sous-sol ou approximativement au niveau du sol. Des conducteurs d'équipotentialité doivent être reliés à une barre d'équipotentialité fabriquée et disposée de façon à

permettre un accès facile pour inspection. La barre d'équipotentialité doit être raccordée au réseau de prises de terre. Pour les structures de grandes dimensions (typiquement de longueur supérieure à 20 m), un ceinturage d'équipotentialité peut être utilisée ou plusieurs barres d'équipotentialité peuvent être installées, à condition qu'elles soient interconnectées;

b) lorsque les exigences d'isolement ne sont pas satisfaites (voir 6.3).

Les liaisons équipotentielle de foudre doivent être aussi directes et droites que possible.

NOTE Lorsque la liaison équipotentielle de foudre est reliée à des parties conductrices de la structure, une partie du courant de foudre peut s'écouler dans la structure et il convient de prendre en compte cet effet.

Les valeurs minimales de la section des conducteurs d'équipotentialité connectant différentes barres d'équipotentialité et des conducteurs connectant les barres au réseau de prises de terre sont données dans le Tableau 8.

Les valeurs minimales de la section des conducteurs d'équipotentialité connectant les installations métalliques internes aux barres d'équipotentialité sont données dans le Tableau 9.

Tableau 8 – Dimensions minimales des conducteurs de connexion de différentes barres d'équipotentialité ou de connexion de ces mêmes barres au réseau de prises de terre

Classe de SPF	Matériau	Section mm ²
I à IV	Cuivre	16
	Aluminium	25
	Acier	50

Tableau 9 – Dimensions minimales des conducteurs de connexion des installations métalliques internes à la barre d'équipotentialité

Classe de SPF	Matériau	Section mm ²
I à IV	Cuivre	6
	Aluminium	10
	Acier	16

Si des parties isolantes sont insérées sur des canalisations de gaz ou d'eau, à l'intérieur de la structure à protéger, elles doivent être shuntées par des éclateurs d'isolement conçus pour un tel fonctionnement, avec l'accord du distributeur d'eau et de gaz.

Les éclateurs d'isolement doivent être soumis à essai conformément à la EN 50164-3 et doivent avoir les caractéristiques suivantes:

- $I_{IMP} \geq k_C I$ avec $k_C I$ étant le courant de foudre s'écoulant dans la partie appropriée du SPF extérieur (voir Annexe C);
- tension assignée d'amorçage au choc U_{RIMP} inférieure au niveau de tenue aux chocs de l'isolation entre les éléments.

6.2.3 Liaison équipotentielle de foudre pour les parties conductrices extérieures

Pour les parties conductrices extérieures, la liaison équipotentielle de foudre doit être établie aussi près que possible du point de pénétration dans la structure à protéger.

Les conducteurs d'équipotentialité doivent être capables de supporter la partie I_F du courant de foudre s'écoulant à travers eux, évaluée conformément à l'Annexe E de la EN 62305-1:2010.

Si une liaison directe n'est pas acceptable, les éclateurs d'isolement avec les caractéristiques suivantes doivent être utilisés.

Les éclateurs d'isolement doivent être soumis à essai conformément à la EN 50164-3 et doivent présenter les caractéristiques suivantes:

- $I_{IMP} \geq I_F$ où I_F représente le courant de foudre s'écoulant dans la partie conductrice extérieure considérée (voir Annexe E de la EN 62305-1:2010);
- tension assignée d'amorçage au choc U_{RIMP} inférieure au niveau de tenue aux chocs de l'isolation entre les éléments.

NOTE Lorsqu'une liaison équipotentielle est exigée, contrairement à un SPF qui ne l'est pas, la prise de terre de l'installation électrique basse tension peut être utilisée à cette fin. La EN 62305-2 fournit des informations concernant les conditions dans lesquelles aucun SPF n'est requis.

6.2.4 Liaison équipotentielle de foudre des réseaux internes

Il est essentiel de réaliser une liaison équipotentielle de foudre conformément à 6.2.2 a) et 6.2.2 b).

Si les conducteurs de réseaux internes sont blindés ou installés dans des conduits métalliques, il peut être suffisant de mettre à la terre uniquement ces écrans et ces conduits (voir Annexe B).

NOTE La mise à la terre des écrans et conduits peut ne pas prévenir les défaillances dues aux surtensions des matériels qui sont connectés aux conducteurs. Pour la protection de ces matériels, se reporter à la EN 62305-4.

Si les conducteurs des réseaux internes ne sont ni blindés ni installés dans des conduits métalliques, ils doivent être mis à la terre par des parafoudres. Dans les schémas TN, les conducteurs PE et PEN doivent être reliés au SPF de manière directe ou par un parafoudre.

Les conducteurs d'équipotentialité doivent avoir les mêmes caractéristiques de résistance au courant que celles indiquées en 6.2.2 pour les éclateurs d'isolement.

Les parafoudres doivent être conformes aux CEI 61643-1 et 61643-21 et doivent avoir les caractéristiques suivantes:

- soumis à essai avec $I_{IMP} \geq k_C I$, où $k_C I$ représente le courant de foudre s'écoulant dans la partie appropriée du SPF extérieur (voir Annexe C);
- le niveau de protection U_P doit être inférieur à la catégorie de tenue aux chocs de l'isolation entre éléments.

Si la protection des réseaux internes contre les tensions de choc est requise, un réseau de protection coordonnée par parafoudres conformément aux exigences de l'Article 7 de la EN 62305-4:2010, doit être utilisé.

6.2.5 Liaison équipotentielle de foudre des lignes connectées à la structure à protéger

La liaison équipotentielle de foudre pour les lignes de puissance et de communication doit être réalisée conformément à 6.2.3.

Il convient que tous les conducteurs de chaque ligne soient mis à la terre directement ou par l'intermédiaire d'un parafoudre. Les conducteurs actifs doivent être reliés à la barre d'équipotentialité uniquement par un parafoudre. Dans les schémas TN, les conducteurs PE ou PEN doivent être reliés à la barre d'équipotentialité directement ou par l'intermédiaire d'un parafoudre.

Si les lignes sont blindées ou placées dans des conduits métalliques, ces écrans et conduits doivent être mis à la terre. Une liaison équipotentielle de foudre pour les conducteurs n'est pas nécessaire à condition que la section S_C de ces écrans ou conduits ne soit pas inférieure à la valeur minimale S_{CMIN} évaluée conformément à l'Annexe B.

La liaison équipotentielle de foudre des écrans de câbles ou des conduits doit être réalisée à proximité de leur point de pénétration dans la structure.

Les conducteurs d'équipotentialité et les parafoudres doivent avoir les mêmes caractéristiques de résistance au courant que celles indiquées en 6.2.3 pour les éclateurs.

Les parafoudres doivent être conformes aux CEI 61643-1 et 61643-21 et avoir les caractéristiques suivantes:

- soumis à essai avec $I_{IMP} \geq I_F$, où I_F représente le courant de foudre s'écoulant dans les lignes (voir Annexe E de la EN 62305-1:2010);
- niveau de protection U_P inférieur au niveau de tenue aux chocs de l'isolation entre les éléments.

Si la protection contre les tensions de choc des réseaux internes reliés aux lignes pénétrant dans la structure est requise, un réseau de protection coordonnée par parafoudres conformément aux exigences de l'Article 7 de la EN 62305-4:2010 doit être utilisé.

NOTE Lorsqu'une liaison équipotentielle est exigée, contrairement à un SPF qui ne l'est pas, la prise de terre de l'installation électrique basse tension peut être utilisée à cette fin. La EN 62305-2 fournit des informations concernant les conditions dans lesquelles aucun SPF n'est requis.

6.3 Isolation électrique du SPF extérieur

6.3.1 Généralités

L'isolation électrique entre le dispositif de capture ou le conducteur de descente et les parties métalliques de la structure, les installations métalliques et les réseaux internes peut être réalisée par une distance de séparation, s , entre les éléments. L'équation générale utilisée pour le calcul de s est donnée par la formule suivante:

$$s = \frac{k_1}{k_m} \times k_c \times l \quad (\text{m}) \quad (4)$$

où

- k_1 dépend de la classe de SPF choisie (voir Tableau 10);
- k_m dépend du matériau d'isolation électrique (voir Tableau 11);
- k_c dépend du courant de foudre (partiel) s'écoulant dans le dispositif de capture et le conducteur de descente (voir Tableau 12 et Annexe C);
- l est la longueur, en mètres, le long du dispositif de capture et du conducteur de descente entre le point où la distance de séparation est à prendre en considération et le point de liaison équipotentielle le plus proche (voir E.6.3 de l'Annexe E).

NOTE La longueur l le long du dispositif de capture peut être négligée dans les structures comportant une toiture métallique continue servant de dispositif de capture naturel.

Tableau 10 – Isolation d'un SPF extérieur – Valeurs du coefficient k_1

Classe de SPF	k_1
I	0,08
II	0,06
III et IV	0,04

Tableau 11 – Isolation d'un SPF extérieur – Valeurs du coefficient k_m

Matériau	k_m
Air	1
Béton, briques, bois	0,5
NOTE 1 Lorsqu'il existe plusieurs matériaux isolants en série, l'application de la valeur inférieure de k_m constitue une bonne pratique.	
NOTE 2 Pour l'utilisation d'autres matériaux isolants, il convient que le fabricant fournisse des recommandations de construction et la valeur de k_m .	

Dans le cas des lignes ou des parties conductrices extérieures pénétrant dans la structure, il est toujours nécessaire de réaliser une liaison équipotentielle de foudre (par une connexion directe ou une connexion par l'intermédiaire d'un parafoudre) au point de pénétration dans la structure.

Dans des structures en béton armé avec armatures métalliques ou à connexion électrique continue, une distance de séparation n'est pas requise.

Le coefficient de répartition k_c du courant de foudre entre les dispositifs de capture/conducteurs de descente dépend de la classe de dispositif de capture, du nombre total n et de la position des conducteurs de descente, ainsi que des conducteurs de ceinturage d'interconnexion et du type de réseau de prises de terre. La distance de séparation nécessaire dépend de la chute de tension sur le chemin le plus court à partir du point où la distance de séparation est à prendre en considération, jusqu'à l'électrode de terre ou le point de liaison équipotentielle le plus proche.

6.3.2 Approche simplifiée

Dans les structures typiques d'application de l'Equation (4), il doit être tenu compte des conditions suivantes:

k_c dépend du courant de foudre (partiel) s'écoulant dans les conducteurs de descente (voir Tableau 12 et Annexe C);

l est la hauteur, en mètres, le long du conducteur de descente entre le point où la distance de séparation est à prendre en considération, jusqu'au point de liaison équipotentielle le plus proche.

Tableau 12 – Isolation d'un SPF extérieur – Valeurs approchées du coefficient k_c

Nombre de conducteurs de descente n	k_c
1 (uniquement dans le cas d'un SPF isolé)	1
2	0,66
3 et au-delà	0,44
NOTE Les valeurs du Tableau 12 s'appliquent à toutes les dispositions de prises de terre de type B et toutes les dispositions de prises de terre de type A, à condition que la résistance de terre des électrodes de terre voisines ne diffère pas de plus d'un facteur de 2. Si les résistances de terre des électrodes simples diffèrent de plus d'un facteur de 2, une valeur $k_c = 1$ est supposée.	

Des informations complémentaires sur le partage du courant de foudre dans les conducteurs de descente sont données à l'Annexe C.

NOTE L'approche simplifiée génère habituellement des résultats sûrs.

6.3.3 Approche détaillée

Dans un SPF comportant un dispositif de capture maillé ou des conducteurs de ceinturage interconnectés, les dispositifs de capture ou les conducteurs de descente ont différentes valeurs de courant s'écoulant sur leurs longueurs du fait de la division du courant. Dans ces cas, une évaluation plus précise de la distance de séparation, s , peut être effectuée à l'aide de la relation suivante:

$$s = \frac{k_l}{k_m} \times (k_{c1} \times l_1 + k_{c2} \times l_2 + \dots + k_{cn} \times l_n) \quad (5)$$

Lorsque les dispositifs de capture ou les conducteurs de descente ont différentes valeurs de courant s'écoulant sur leurs longueurs du fait de la présence des conducteurs de ceinturage d'interconnexion, les Figures C.4 et C.5 s'appliquent.

NOTE 1 Cette approche peut être utilisée pour l'évaluation de la distance de séparation dans les structures de très grandes dimensions ou les structures de forme complexe.

NOTE 2 Des programmes de réseaux numériques peuvent être utilisés pour le calcul des coefficients k_c applicables aux conducteurs individuels.

7 Maintenance et inspection d'un SPF

7.1 Généralités

L'efficacité de tout SPF dépend de ses méthodes d'installation, de maintenance et d'essai utilisées.

Les inspections, essais et opérations de maintenance ne doivent pas être effectués pendant la menace d'orages.

NOTE Des informations détaillées concernant l'inspection et la maintenance d'un SPF sont fournies à l'Article E.7.

7.2 Application des inspections

Les inspections ont pour objet de s'assurer que

- a) le système de protection contre la foudre est conforme à la conception basée sur la présente norme,
- b) tous les composants du système de protection contre la foudre sont en bon état et capables d'assurer les fonctions pour lesquelles ils ont été conçus, et qu'il n'y a pas de corrosion,
- c) tous les services ou toutes les constructions récemment ajouté(e)s sont intégré(e)s dans le SPF.

7.3 Ordre des inspections

Il convient de réaliser les inspections conformément à 7.2 comme suit:

- pendant la construction de la structure, afin de contrôler les électrodes enterrées;
- après l'installation du SPF;
- périodiquement, avec des intervalles déterminés en fonction de la nature de la structure à protéger, c'est-à-dire des problèmes de corrosion et de la classe de SPF;

NOTE Pour des informations détaillées, voir l'Article E.7.

- après des modifications ou des réparations, ou lorsqu'il est notoire que la structure a été frappée par la foudre.

Lors des inspections périodiques, il est particulièrement important de vérifier les points suivants:

- la détérioration et la corrosion des éléments des dispositifs de capture, des conducteurs et des connexions;
- la corrosion des électrodes de terre;
- la valeur de résistance de terre applicable au réseau de prises de terre;
- l'état des connexions, de la liaison équipotentielle et des fixations.

7.4 Maintenance

Des inspections régulières constituent le principe même d'une maintenance fiable d'un système de protection contre la foudre. Le propriétaire du ou des biens concernés doit être informé de tous les défauts constatés, qui doivent être réparés sans retard.

8 Mesures de protection contre les blessures d'êtres vivants dues aux tensions de contact et de pas

8.1 Mesures de protection contre les tensions de contact

Dans certaines conditions, la proximité des conducteurs de descente avec un SPF peut être dangereuse même si le SPF a été conçu et construit conformément aux exigences susmentionnées.

Le danger est réduit à un niveau tolérable si l'une des conditions suivantes est satisfaite:

- a) dans les conditions normales de fonctionnement, personne ne se trouve à moins de 3 m des conducteurs de descente;
- b) un réseau d'au moins 10 conducteurs de descente conformes à 5.3.5 est utilisé;
- c) la résistance de contact de la couche de surface du sol, jusqu'à 3 m du conducteur de descente, n'est pas inférieure à 100 k Ω .

NOTE Une couche en matériau isolant, par exemple, une couche d'asphalte de 5 cm d'épaisseur (ou une couche de gravier de 15 cm d'épaisseur) réduit généralement le danger à un niveau tolérable.

Si aucune de ces conditions n'est satisfaite, des mesures de protection doivent être prises contre les blessures d'êtres vivants dues aux tensions de contact de la manière suivante:

- l'isolation du conducteur de descente exposée est assurée pour une tension de tenue aux chocs de 100 kV, 1,2/50 μ s, par exemple, par du polyéthylène réticulé d'une épaisseur minimale de 3 mm;
- des restrictions physiques et/ou des pancartes d'avertissement afin de minimiser la probabilité de contact avec les conducteurs de descente.

Les mesures de protection doivent être conformes aux normes appropriées (voir ISO 3864-1).

8.2 Mesures de protection contre les tensions de pas

Dans certaines conditions, la proximité des conducteurs de descente peut être dangereuse même si le SPF a été conçu et construit conformément aux règles susmentionnées.

Le danger est réduit à un niveau tolérable si l'une des conditions suivantes est satisfaite:

- a) dans les conditions normales de fonctionnement, personne ne se trouve à moins de 3 m des conducteurs de descente;



- b) un réseau d'au moins 10 conducteurs de descente conformes à 5.3.5 est utilisé;
- c) la résistance de contact de la couche de surface du sol, jusqu'à 3 m du conducteur de descente, n'est pas inférieure à 100 k Ω .

NOTE Une couche en matériau isolant, par exemple, une couche d'asphalte de 5 cm d'épaisseur (ou une couche de gravier de 15 cm d'épaisseur) réduit généralement le danger à un niveau tolérable.

Si aucune de ces conditions n'est satisfaite, des mesures de protection doivent être prises contre les blessures d'êtres vivants dues aux tensions de pas de la manière suivante:

- équipotentialité au moyen d'un réseau de prises de terre maillé;
- des restrictions physiques et/ou des pancartes d'avertissement afin de minimiser la probabilité d'accès à la zone dangereuse, à une distance de 3 m du conducteur de descente.

Les mesures de protection doivent être conformes aux normes appropriées (voir ISO 3864-1).

Annexe A (normative)

Emplacement du dispositif de capture

A.1 Emplacement du dispositif de capture par la méthode de l'angle de protection

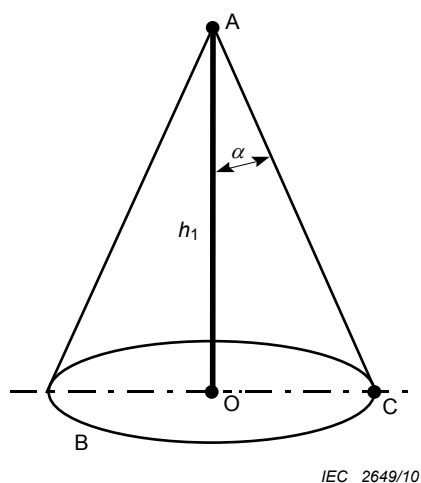
A.1.1 Généralités

La position du dispositif de capture est considérée appropriée si la structure à protéger est complètement située à l'intérieur du volume protégé par le dispositif de capture.

Pour la détermination du volume protégé, seules les dimensions physiques des dispositifs de capture métalliques doivent être prises en considération.

A.1.2 Volume protégé par un système de tige de capture verticale

Le volume protégé par une tige verticale est supposé avoir la forme d'un cône circulaire droit ayant pour axe la tige de capture, de demi-angle de pointe α , selon la classe de SPF et selon la hauteur du dispositif de capture comme indiqué au Tableau 2. Des exemples de volume protégé sont donnés aux Figures A.1 et A.2.

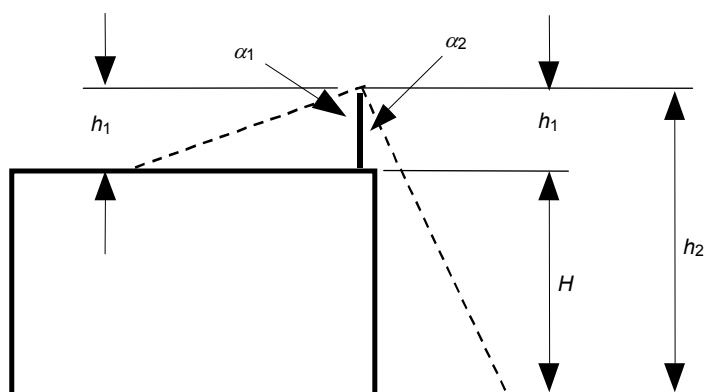


IEC 2649/10

Légende

A	pointe d'une tige de capture
B	plan de référence
OC	rayon de la surface protégée
h_1	hauteur de la tige de capture au-dessus du plan de référence de la surface à protéger
α	angle de protection selon le Tableau 2

Figure A.1 – Volume protégé par une tige de capture verticale



IEC 2650/10

Légende

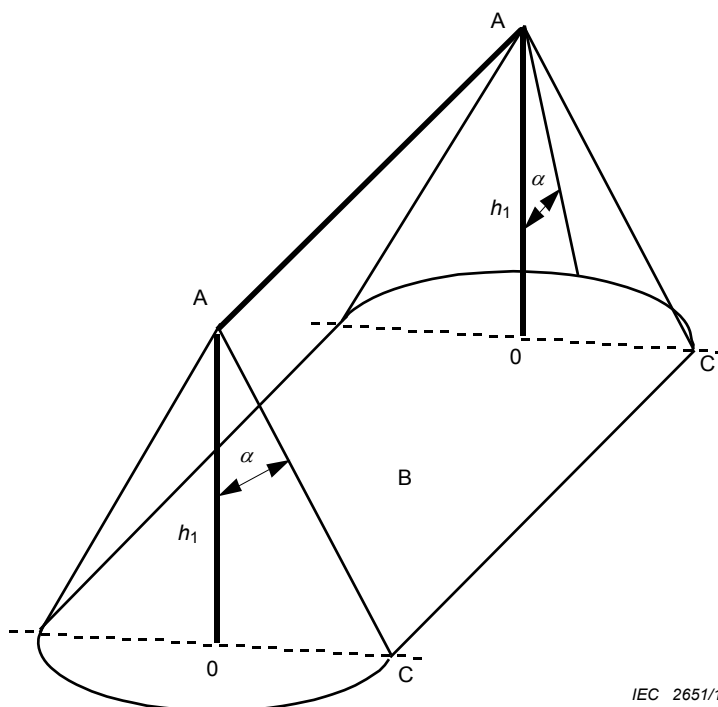
h_1 hauteur physique de la tige de capture

NOTE L'angle de protection α_1 correspond à la hauteur h_1 du dispositif de capture, cette hauteur étant prise au-dessus de la surface du toit à protéger; l'angle de protection α_2 correspond à la hauteur $h_2 = h_1 + H$, le sol étant le plan de référence; α_1 est lié à h_1 et α_2 est lié à h_2 .

Figure A.2 – Volume protégé par une tige de capture verticale

A.1.3 Volume protégé par un réseau de fils tendus

Le volume protégé par un fil (tendu) est défini par la composition du volume protégé par des tiges verticales et virtuelles de capture dont le sommet repose sur le fil. Des exemples de volume protégé sont donnés à la Figure A.3.



IEC 2651/10

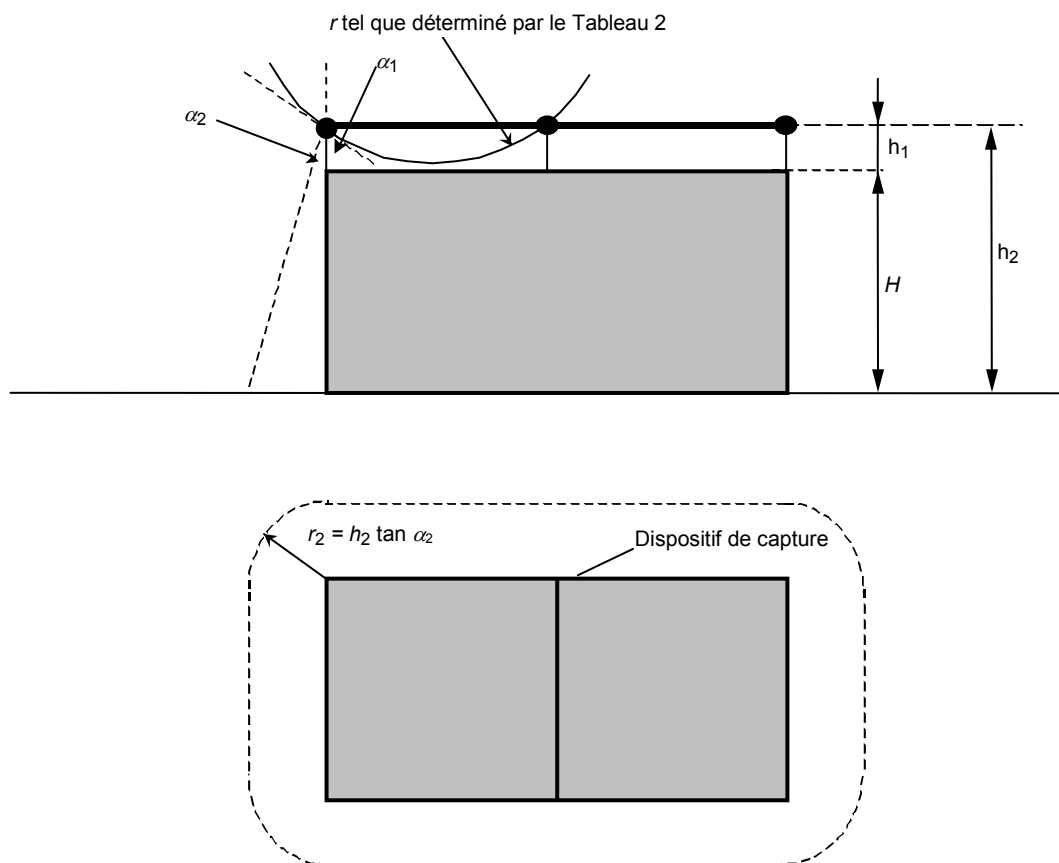
NOTE Voir Figure A.1 pour légende.

Figure A.3 – Volume protégé par un réseau de fils tendus

A.1.4 Volume protégé par des conducteurs maillés

Le volume protégé par des conducteurs maillés est défini par une combinaison du volume protégé déterminé par les conducteurs simples constituant la maille.

Des exemples de volume protégé par des conducteurs maillés sont donnés aux Figures A.4 et A.5.



IEC 2652/10

Figure A.4 – Volume protégé par des conducteurs isolés combinés dans une maille selon la méthode de l'angle de protection et la méthode de la sphère fictive

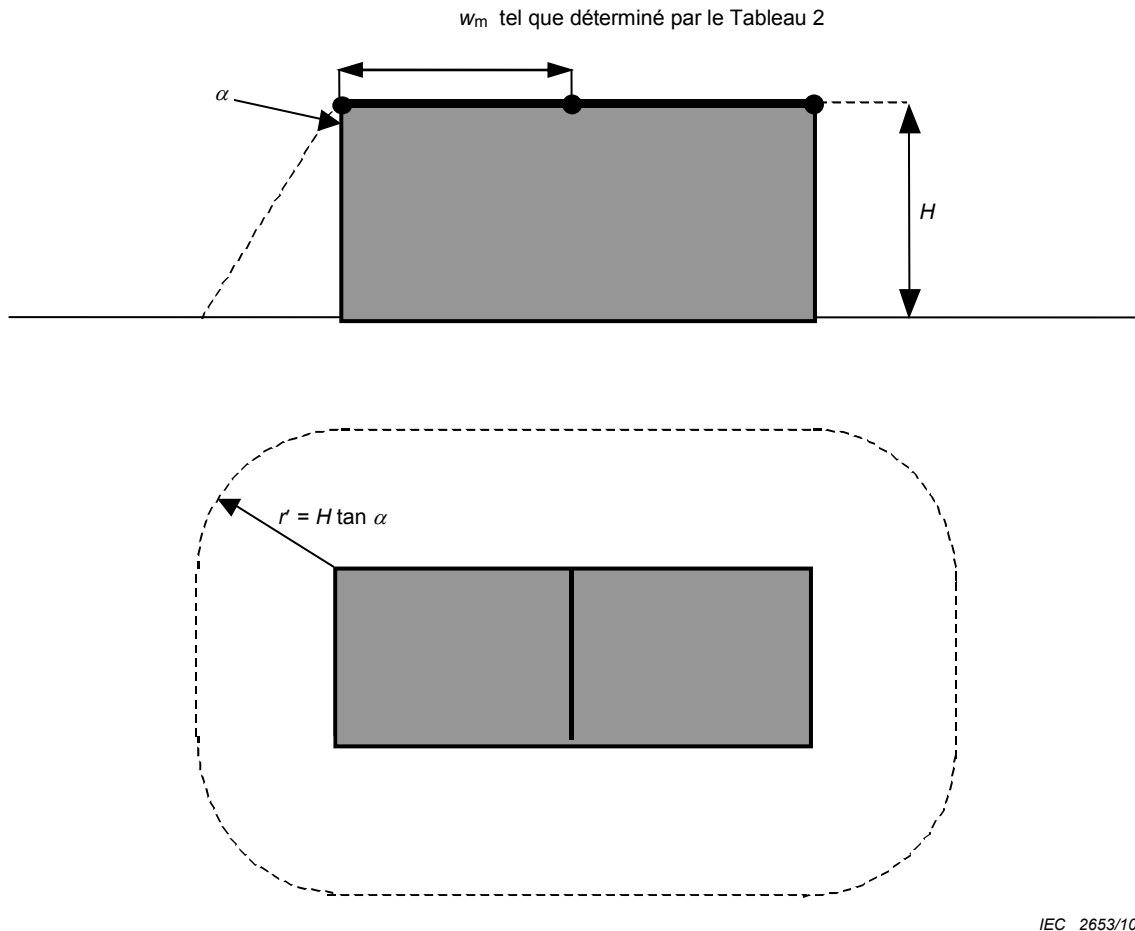


Figure A.5 – Volume protégé par des conducteurs non-isolés combinés dans une maille selon la méthode des mailles et la méthode de l'angle de protection

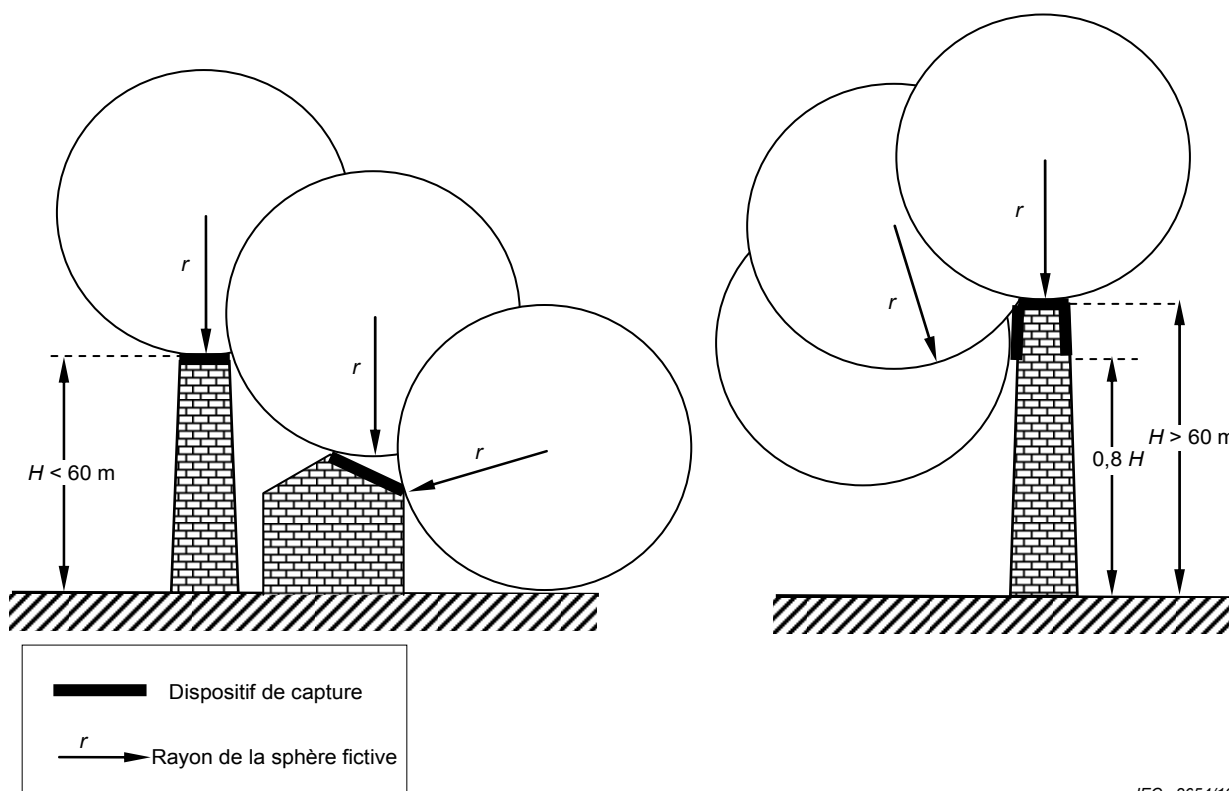
A.2 Emplacement du dispositif de capture par la méthode de la sphère fictive

Lors de l'utilisation de cette méthode, l'emplacement du dispositif de capture est approprié si aucun point de la structure à protéger ne vient en contact avec une sphère de rayon r , selon la classe de SPF (voir Tableau 2), roulant autour et au sommet de la structure dans toutes les directions possibles. De cette manière, la sphère touche uniquement le dispositif de capture (voir Figure A.6).

Pour toutes les structures plus élevées que le rayon de la sphère fictive r , des coups latéraux peuvent se produire. Chaque point latéral de la structure touché par la sphère fictive constitue un possible point d'impact. Toutefois, la probabilité de coups latéraux est généralement négligeable pour des structures de hauteur inférieure à 60 m.

Pour des structures plus élevées, la plupart de ces coups de foudre se produisent au sommet, au niveau des arêtes horizontales et des coins de la structure. Seul un faible pourcentage de coups se produit sur le côté de la structure.

De plus, les données d'observation montrent que la probabilité de coups latéraux décroît rapidement avec la hauteur du point d'impact sur les structures élevées par rapport au sol. Par conséquent, il convient de prendre en considération l'installation d'un dispositif de capture latéral sur la partie supérieure des structures élevées (généralement les 20 % de la hauteur de la structure les plus élevées). Dans ce cas, la méthode de la sphère fictive s'appliquera uniquement à l'emplacement du dispositif de capture de la partie supérieure de la structure.



NOTE Il convient que le rayon de la sphère fictive, r , satisfasse à la classe de SPF choisie (voir Tableau 2).

Figure A.6 – Conception du dispositif de capture selon la méthode de la sphère fictive

A.3 Emplacement du dispositif de capture par la méthode des mailles

Pour la protection de surfaces planes, une maille est considérée comme fournissant une protection pour toute la surface sous réserve que toutes les conditions suivantes soient satisfaites:

- a) Les conducteurs de capture sont situés sur
 - des bordures de toit,
 - des avancées de toit,
 - des pentes de toit si leur pente est supérieure à 1/10.

NOTE 1 La méthode des mailles est adaptée aux toitures horizontales et inclinées sans courbure.

NOTE 2 La méthode des mailles est adaptée aux surfaces latérales planes pour la protection contre les coups de foudre latéraux.

NOTE 3 Si la pente du toit dépasse 1/10, des conducteurs de capture parallèles peuvent être utilisés au lieu de mailles, à condition que la distance entre ces conducteurs ne soit pas supérieure à la taille des mailles requise.

- b) Les dimensions des mailles du réseau de capture ne sont pas supérieures aux valeurs données dans le Tableau 2.
- c) Le réseau de dispositifs de capture est réalisé de manière que le courant de foudre puisse toujours s'écouler par au moins deux cheminements métalliques distincts vers le dispositif de capture concerné.
- d) Aucun élément métallique ne dépasse du volume protégé par les réseaux de capture.

NOTE 4 Des informations complémentaires sont données à l'Annexe E.

- e) Les conducteurs de capture suivent, dans toute la mesure du possible, le chemin le plus court et le plus direct.



Annexe B (normative)

Section minimale de l'écran d'un câble entrant pour éviter des étincelles dangereuses

Les surtensions entre les conducteurs actifs et l'écran d'un câble peuvent provoquer des étincelles dangereuses dues au courant de foudre véhiculé par l'écran. Les surtensions dépendent du matériau et des dimensions de l'écran, ainsi que de la longueur et de l'emplacement du câble.

La valeur minimale S_{CMIN} (en mm^2) de la section d'écran d'un câble qui permet d'éviter les étincelles dangereuses est donnée par:

$$S_{\text{CMIN}} = (I_F \times \rho_C \times L_C \times 10^6) / U_W \text{ (mm}^2\text{)} \quad (\text{B.1})$$

où

I_F est le courant s'écoulant dans l'écran, en kA;

ρ_C est la résistivité de l'écran, en Ωm ;

L_C est la longueur du câble, en m (voir Tableau B.1);

U_W est la tension de tenue aux chocs du réseau de puissance/communication alimenté par le câble, en kV.

Tableau B.1 – Longueur de câble à prendre en considération selon l'état de l'écran

Etat de l'écran	L_C
En contact avec le sol de résistivité ρ (Ωm)	$L_C \leq 8 \times \sqrt{\rho}$
Isolé du sol ou dans l'air	L_C est la distance entre la structure et le point de mise à la terre le plus proche de l'écran

NOTE Il convient de s'assurer qu'une élévation inacceptable de température de l'isolation de la ligne ne peut pas se produire lors de l'écoulement du courant de foudre dans l'écran ou les conducteurs de ligne. Pour des informations détaillées, voir la EN 62305-4.

Les limites du courant sont données:

– pour les câbles écrantés en cuivre par $I_F = 8 \times S_C$; et

– pour les câbles non écrantés, par $I_F = 8 \times n' \times S'_C$

où

I_F est le courant dans l'écran, en kA;

n' est le nombre de conducteurs;

S_C est la section de l'écran, en mm^2 ;

S'_C est la section de chaque conducteur, en mm^2 .

Annexe C (informative)

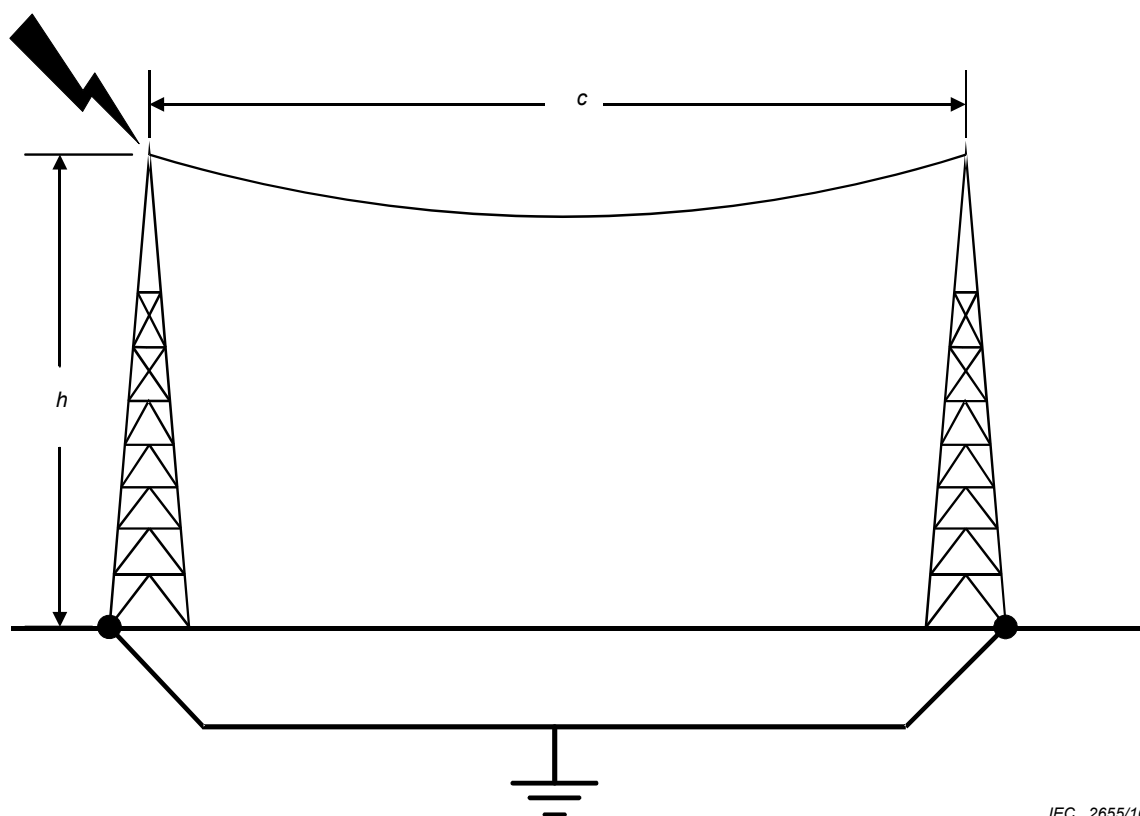
Evaluation de la distance de séparation s

Le coefficient de répartition k_c du courant de foudre entre les dispositifs de capture/conducteurs de descente dépend du type de réseau de capture, du nombre total, n , des conducteurs de descente, de leur position et des conducteurs de ceinturage d'interconnexion, ainsi que du type de réseau de prises de terre.

NOTE 1 La distance de séparation nécessaire dépend de la chute de tension sur le chemin le plus court à partir du point où la distance de séparation doit être prise en considération, jusqu'au point de liaison équipotentielle le plus proche.

NOTE 2 Les informations contenues dans la présente annexe s'appliquent à toutes les dispositions de prises de terre de type B et de type A, à condition que la résistance de terre des électrodes de terre voisines ne diffère pas de plus d'un facteur de 2. Si les résistances de terre des électrodes de terre simples diffèrent de plus d'un facteur de 2, une valeur $k_c = 1$ doit être supposée.

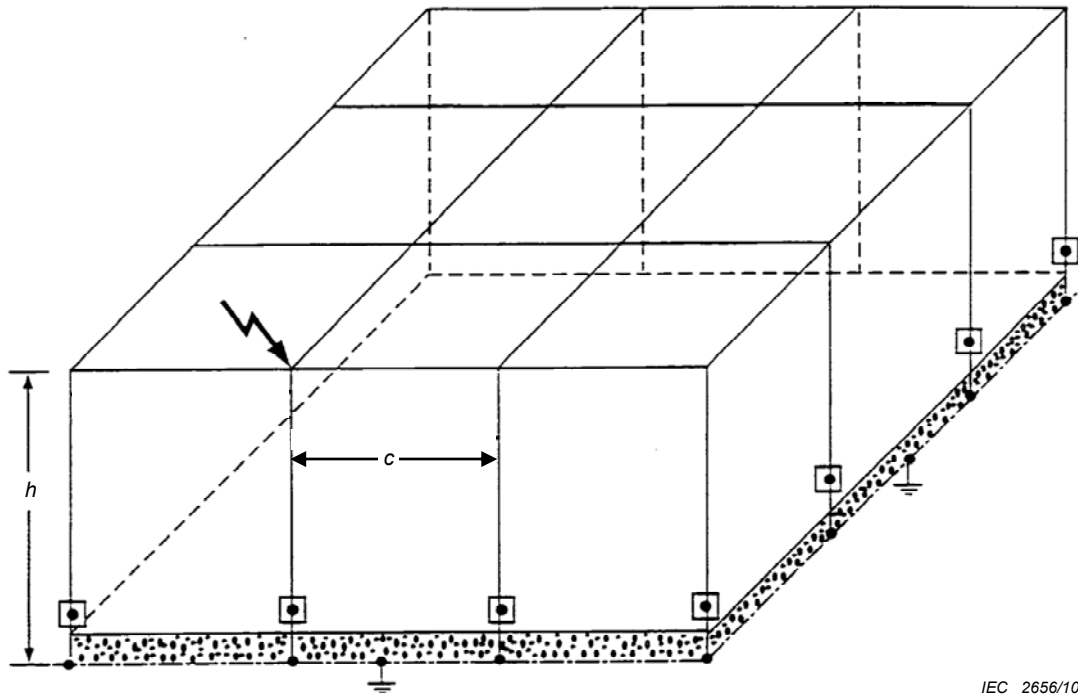
Lorsque les dispositifs de capture ou les conducteurs de descente ont la même valeur de courant s'écoulant sur leurs longueurs, les Figures C.1, C.2 et C.3 s'appliquent (voir 6.3.2: Approche simplifiée).



IEC 2655/10

$$k_c = \frac{h+c}{2h+c}$$

Figure C.1 – Valeurs du coefficient k_c dans le cas d'un réseau de fils tendus



$$k_c = \frac{1}{2n} + 0,1 + 0,2 \times \sqrt[3]{\frac{c}{h_1}}$$

Légende

- n nombre total de conducteurs de descente
- c distance entre deux conducteurs de descente
- h espacement (ou hauteur) entre conducteurs de ceinturage

NOTE 1 L'équation utilisée pour le calcul de k_c est une approximation pour des structures cubiques et pour $n \geq 4$. Les valeurs de h et c sont supposées se situer dans une plage comprise entre 3 m et 20 m.

NOTE 2 Si des conducteurs de descente intérieurs existent, il convient que le nombre n les prenne en compte.

Figure C.2 – Valeurs du coefficient k_c dans le cas d'un réseau à plusieurs conducteurs de descente

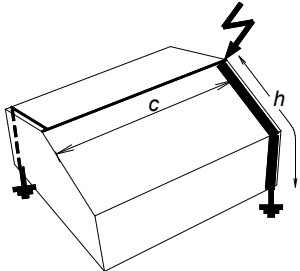
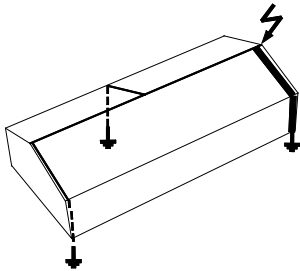
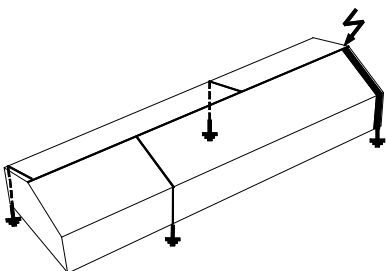
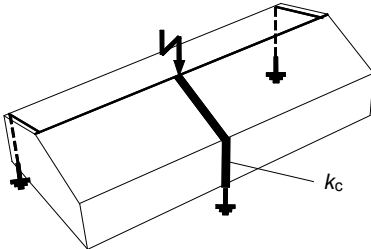
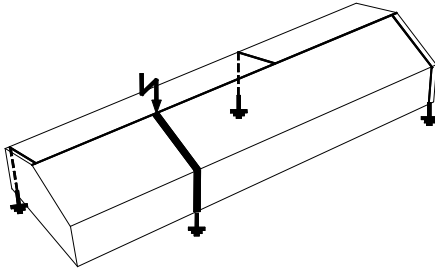
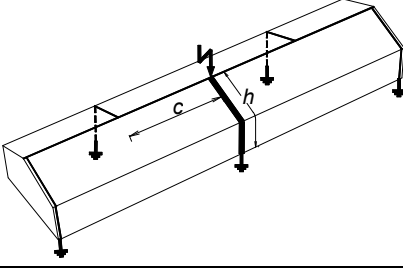
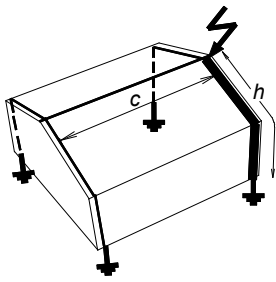
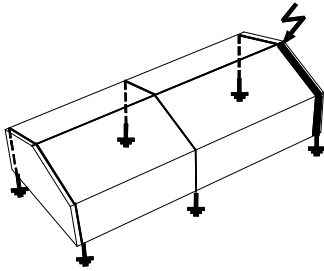
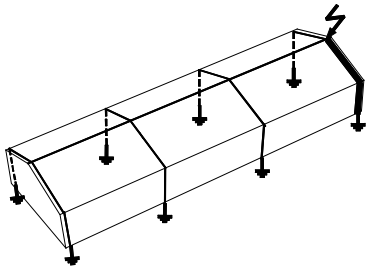
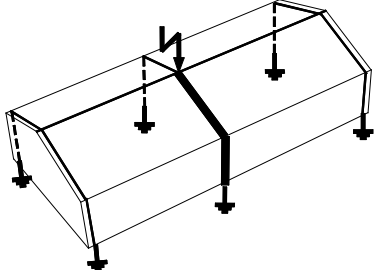
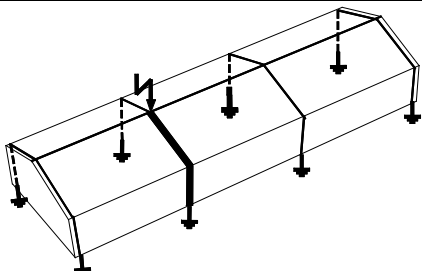
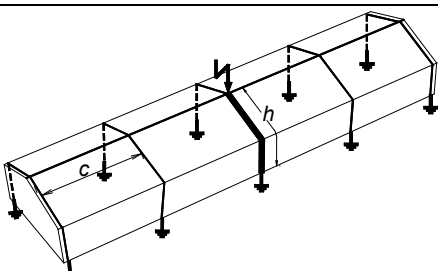
	$\frac{c}{h}$	0,33	0,50	1,00	2,00	
	k_c	0,57	0,60	0,66	0,75	<p>c Distance par rapport au conducteur de descente le plus proche le long de l'arête</p> <p>h Longueur du conducteur de descente entre l'arête et le point de liaison équipotentielle suivant ou le réseau de prises de terre</p> <p>Les valeurs de k_c, indiquées dans le tableau se réfèrent aux conducteurs de descente représentés par un trait gras et un point d'impact</p> <p>L'emplacement du conducteur de descente (à prendre en considération pour k_c) doit être comparé avec la figure représentative du conducteur de descente concerné</p> <p>La relation réelle c/h est à déterminer. Si cette relation se situe entre deux valeurs des colonnes, k_c peut être déterminé par interpolation</p> <p>NOTE 1 Les conducteurs de descente supplémentaires séparés par une distance supérieure à celle illustrée dans les figures n'ont pas d'influence significative</p> <p>NOTE 2 Dans le cas de conducteurs de ceinturage d'interconnexion situés au-dessous de l'arête, voir Figure C.4</p> <p>NOTE 3 Les valeurs sont déterminées par simple calcul d'impédances parallèles suivant la formule de la Figure C.1</p>
	k_c	0,47	0,52	0,62	0,73	
	k_c	0,44	0,50	0,62	0,73	
	k_c	0,40	0,43	0,50	0,60	
	k_c	0,35	0,39	0,47	0,59	
	k_c	0,31	0,35	0,45	0,58	

Figure C.3 (suite à la page suivante)

	k_c	0,31	0,33	0,37	0,41
	k_c	0,28	0,33	0,37	0,41
	k_c	0,27	0,33	0,37	0,41
	k_c	0,23	0,25	0,30	0,35
	k_c	0,21	0,24	0,29	0,35
	k_c	0,20	0,23	0,29	0,35

IEC 2108/05

Figure C.3 – Valeurs du coefficient k_c dans le cas d'une toiture en pente avec un dispositif de capture sur l'arête

$$d_a \geq s_a = \frac{k_i}{k_m} \times k_{c1} \times l_a$$

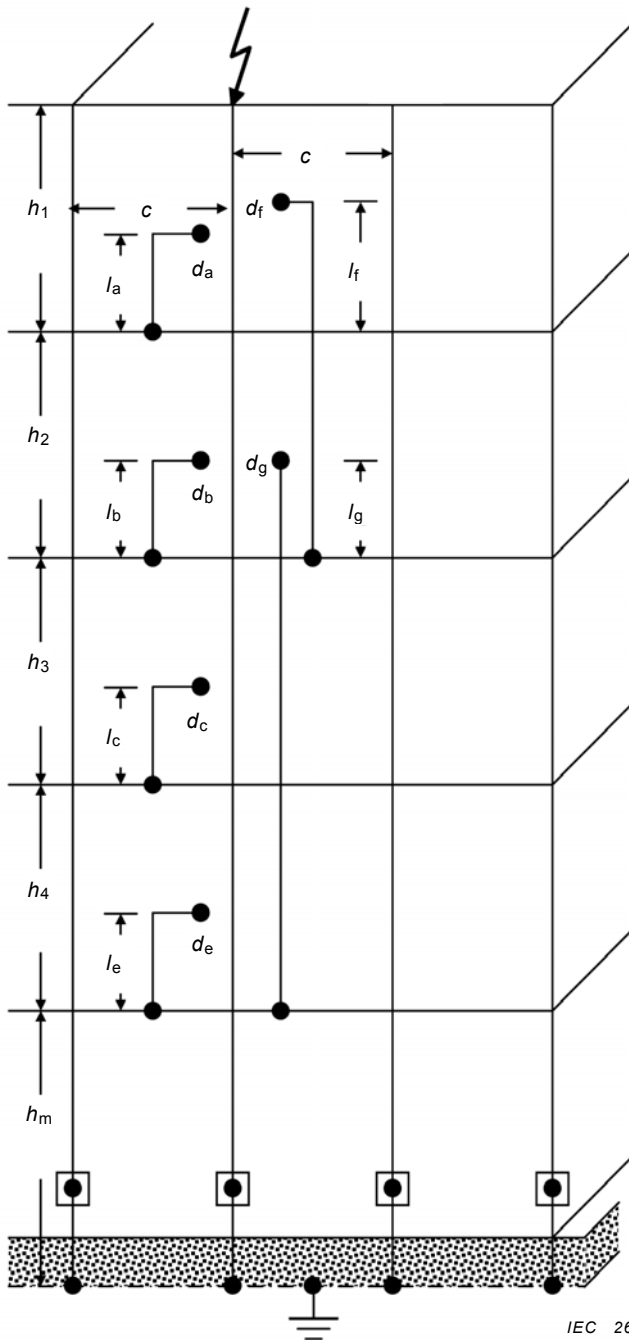
$$d_b \geq s_b = \frac{k_i}{k_m} \times k_{c2} \times l_b$$

$$d_c \geq s_c = \frac{k_i}{k_m} \times k_{c3} \times l_c$$

$$d_e \geq s_e = \frac{k_i}{k_m} \times k_{c4} \times l_e$$

$$d_f \geq s_f = \frac{k_i}{k_m} \times (k_{c1} \times l_f + k_{c2} \times h_2)$$

$$d_g \geq s_g = \frac{k_i}{k_m} \times (k_{c2} \times l_g + k_{c3} \times h_3 + k_{c4} \times h_4)$$



$$k_{c1} = \frac{1}{2n} + 0,1 + 0,2 \times \sqrt[3]{\frac{c}{h_1}}$$

$$k_{c2} = \frac{1}{n} + 0,1$$

$$k_{c3} = \frac{1}{n} + 0,01$$

$$k_{c4} = \frac{1}{n}$$

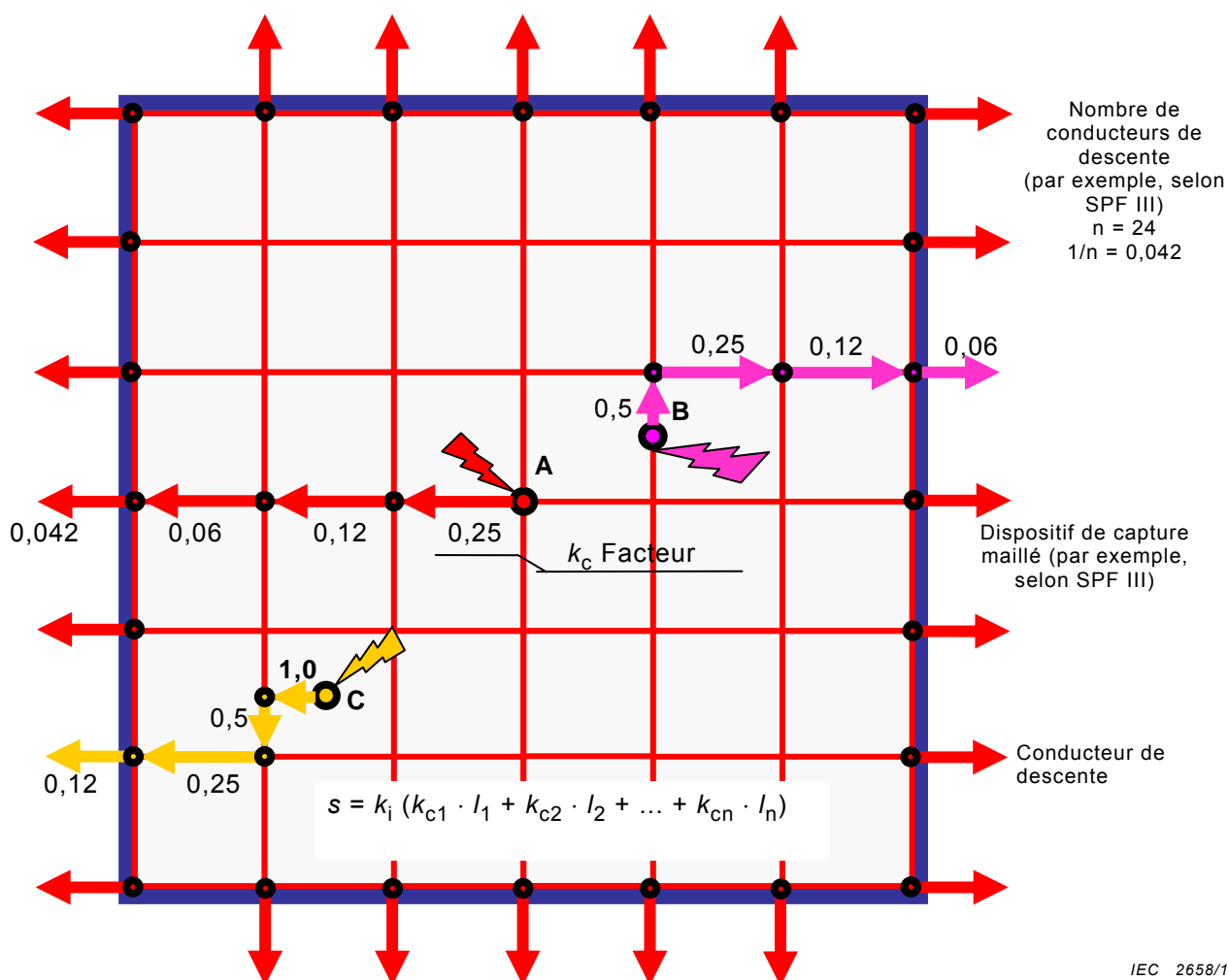
$$k_{cm} = k_{c4} = \frac{1}{n}$$

Légende

- n nombre total de conducteurs de descente
- c espacement entre les conducteurs de descente
- h espacement (hauteur) entre les conducteurs de ceinturage
- m nombre total de niveaux
- d distance par rapport au conducteur de descente le plus proche
- l hauteur au-dessus du point de liaison

NOTE Si des conducteurs de descente intérieurs existent, il convient que le nombre n les prenne en compte.

Figure C.4 – Exemples de calcul de la distance de séparation dans le cas de conducteurs de descente multiples, avec ceinturage des conducteurs de descente à chaque niveau



Légende

A, B, C points d'injection

NOTE 1 Règles pour la répartition du courant:

a) Point d'injection

Le courant est réparti par le nombre de passages de courant potentiels au point d'injection dans le réseau de capture maillé.

b) Autres connexions (jonctions)

Le courant est réduit de 50 % à tout autre point de connexion du réseau de capture maillé.

c) Conducteur de descente

Le courant est réduit une nouvelle fois de 50 %, mais la valeur de k_c ne doit toutefois pas être inférieure à $1/n$.

(n .. nombre total de conducteurs de descente)

NOTE 2 Les valeurs de k_c doivent être prises en considération entre le point d'impact et l'arête du toit. Il n'est pas nécessaire de tenir compte du cheminement entre l'arête du toit et le conducteur de descente. Les valeurs de k_c le long des conducteurs de descente dépendent de la valeur de k_c du dispositif de capture connecté au niveau de l'arête du toit.

NOTE 3 Si le nombre de mailles est inférieur à celui présenté ci-dessus, entre le point d'impact et l'arête du toit, seules les valeurs correspondantes de k_c , en partant du point où la distance de proximité doit être prise en considération, doivent être utilisées.

NOTE 4 Si des conducteurs de descente intérieurs existent, il convient de les prendre en compte pour le calcul du nombre n .

Figure C.5 – Valeurs du coefficient k_c dans le cas d'un réseau de capture maillé et d'un réseau de conducteurs de descente multiple

Annexe D (normative)

Informations complémentaires concernant les SPF dans le cas de structures avec risque d'explosion

D.1 Généralités

La présente annexe spécifie des exigences complémentaires pour la conception, la construction, l'extension et la modification des systèmes de protection contre la foudre de structures avec risque d'explosion.

NOTE Les informations données dans la présente annexe sont fondées sur les configurations éprouvées de systèmes de protection contre la foudre installés dans des applications avec danger d'explosion. Les autorités compétentes peuvent spécifier d'autres exigences.

D.2 Termes et définitions complémentaires

Outre les termes et définitions de l'Article 3, les termes et définitions de la CEI 60079-14:2007 ainsi que les termes et définitions suivants s'appliquent à la présente annexe.

D.2.1

matériau explosif massif

composé chimique massif, mélange ou dispositif dont le but principal ou courant est de fonctionner avec une explosion

D.2.2

zone 0

emplacement dans lequel une atmosphère explosive constituée d'un mélange d'air et de substances inflammables sous la forme de gaz, de vapeur ou d'aérosol est présente en permanence, ou est présente pendant de longues périodes ou fréquemment

[CEI 60050-426:2008, 426-03-03, modifiée] ^[4]

D.2.3

zone 1

emplacement dans lequel une atmosphère explosive constituée d'un mélange d'air et de substances inflammables sous la forme de gaz, de vapeur ou d'aérosol est susceptible de se former en service normal occasionnellement

[CEI 60050-426:2008, 426-03-04, modifiée] ^[4]

D.2.4

zone 2

emplacement dans lequel une atmosphère explosive constituée d'un mélange d'air et de substances inflammables sous la forme de gaz, de vapeur ou d'aérosol n'est pas susceptible de se former en service normal et où une telle formation, si elle se produit, ne peut subsister que pendant une courte période

NOTE 1 Dans cette définition, le terme « subsister » signifie le temps total durant lequel une atmosphère inflammable existe. Ce temps comprend normalement le temps total de présence en plus du temps de dispersion de l'atmosphère inflammable après évacuation.

NOTE 2 Des indications sur la fréquence d'apparition et la durée peuvent être données par des règlements propres à des industries ou applications spécifiques.

[CEI 60050-426:2008, 426-03-05, modifiée] ^[4]



D.2.5

zone 20

emplacement dans lequel une atmosphère explosive, sous la forme d'un nuage de poussières combustibles dans l'air, est présente en permanence, pendant de longues périodes ou fréquemment

[CEI 60079-10-2:2009, 6.2, modifiée]

D.2.6

zone 21

emplacement dans lequel une atmosphère explosive, sous la forme d'un nuage de poussières combustibles dans l'air, est susceptible de se former occasionnellement en fonctionnement normal

[CEI 60079-10-2:2009, 6.2, modifiée]

D.2.7

zone 22

emplacement dans lequel une atmosphère explosive, sous la forme d'un nuage de poussières combustibles dans l'air, n'est pas susceptible de se former en fonctionnement normal, et où une telle formation, si elle se produit, ne peut subsister que pendant une courte période

[CEI 60079-10-2:2009, 6.2, modifiée]

D.3 Exigences fondamentales

D.3.1 Généralités

Le système de protection contre la foudre doit être conçu et installé de manière que, en cas d'impact direct, aucun effet de fusion ou de projection n'apparaisse sauf au point d'impact.

NOTE 1 Les étincelles ou les effets d'impact au point d'impact peuvent également se vérifier. Il convient que cet aspect soit pris en considération dans la détermination des emplacements du dispositif de capture. Il convient que les conducteurs de descente soient installés de manière que la température d'auto-inflammation donnée par la source de la zone dangereuse relative ne soit pas dépassée dans les applications où il n'est pas possible d'installer les conducteurs de descente à l'extérieur de la zone dangereuse.

NOTE 2 Un impact sur les matériels électriques ne peut être évité dans tous les cas du fait de l'occurrence du coup de foudre.

D.3.2 Informations requises

Le concepteur/installateur du système de protection contre la foudre doit disposer des schémas de l'installation ou des installations à protéger, avec les zones où les matériaux explosifs massifs sont manipulés ou stockés, ou les zones dangereuses conformément à la CEI 60079-10-1 et à la CEI 60079-10-2, comportant un marquage approprié.

D.3.3 Mise à la terre

Une disposition de type B pour le réseau de prises de terre, conformément à 5.4.2.2, est préférable pour tous les systèmes de protection contre la foudre de structures avec risque d'explosion.

NOTE La construction d'une structure peut fournir la boucle à fond de fouille équivalente du conducteur de ceinturage d'une disposition de type B (par exemple, réservoirs métalliques).

La résistance de terre des réseaux de prises de terre pour les structures contenant des matériaux explosifs massifs et des mélanges explosifs doit être la plus faible possible et non supérieure à 10 Ω .

D.3.4 Liaison équipotentielle

Une liaison équipotentielle commune doit être prévue pour le système de protection contre la foudre conformément à 6.2 et pour les installations situées dans des zones avec risque d'explosion conformément à la CEI 60079-10-1 et à la CEI 60079-10-2.

D.4 Structures contenant des matériaux explosifs massifs

La conception d'une protection contre la foudre pour les structures contenant des matériaux explosifs massifs doit tenir compte de la sensibilité des matériaux dans les conditions de leur utilisation ou de leur stockage. Par exemple, des matériaux explosifs en vrac non sensibles peuvent ne pas nécessiter de prise en considération autre que celle spécifiée dans la présente annexe. Toutefois, il existe des conditions de matériaux explosifs sensibles pouvant devenir sensibles à la variation rapide des champs électriques et/ou de l'IEMF rayonnée. Il peut être nécessaire de spécifier des exigences supplémentaires en termes de liaison ou de blindage pour ce type d'applications.

Pour les structures contenant des matériaux explosifs massifs, une installation extérieure de système de protection contre la foudre isolée (tel que définie en 5.1.2) est recommandée. Les structures complètement entourées d'une tôle métallique d'une épaisseur minimale de 5 mm en acier ou équivalent (7 mm pour les structures en aluminium) peuvent être considérées comme protégées par un dispositif de capture naturel, tel que défini en 5.2.5. Les exigences de mise à la terre spécifiées en 5.4 s'appliquent à ces structures.

NOTE Lorsque des problèmes de points chauds ou d'inflammation peuvent survenir, il convient de vérifier que l'élévation de température de la surface intérieure au point d'impact ne constitue pas un danger.

Des parafoudres doivent être mis en place comme partie intégrante du système de protection contre la foudre pour tous les sites contenant des matériaux explosifs. Lorsque la pratique le permet, les parafoudres doivent être installés à l'extérieur des sites contenant des matériaux explosifs massifs. Les parafoudres installés à l'intérieur des sites contenant des matériaux explosifs exposés ou des poussières explosives doivent être antidéflagrants.

D.5 Structures contenant des zones dangereuses

D.5.1 Généralités

Toutes les parties de l'installation extérieure de système de protection contre la foudre (dispositif de capture et conducteurs de descente) doivent être situées au moins à 1 m d'une zone dangereuse, dans toute la mesure du possible. Lorsque cela n'est pas possible, il convient que les conducteurs passant à l'intérieur d'une zone dangereuse soient de préférence continus ou les connexions doivent être réalisées conformément à 5.5.3.

Tout desserrement accidentel des connexions dans des zones dangereuses doit être évité.

Lorsqu'une zone dangereuse est directement située sous une couverture métallique pouvant être percée par la foudre (voir 5.2.5), le dispositif de capture doit être prévu conformément aux exigences de 5.2.

D.5.1.1 Protection contre l'explosion

Les parafoudres doivent être installés à l'extérieur de la zone dangereuse lorsque la pratique le permet. Les parafoudres placés à l'intérieur de la zone dangereuse doivent être agréés pour la zone dangereuse dans laquelle ils sont installés.



D.5.1.2 Liaison équipotentielle

Outre les connexions conformes aux Tableaux 7 et 8, les canalisations raccordées de manière à être électriquement conductrices selon 5.3.5 peuvent également être utilisées comme connexions.

Les canalisations métalliques aériennes extérieures aux unités de traitement doivent être reliées à la terre au moins tous les 30 m. Les connexions aux canalisations doivent être telles que, lors du passage du courant de foudre, aucune étincelle ne se produise. Des connexions appropriées aux canalisations se présentent sous la forme de soudures, de boulons ou de vissage dans les brides. Des connexions réalisées au moyen d'attaches ne sont admises que si, en présence de courants de foudre, la protection contre l'inflammation est démontrée par des essais et des méthodes sont appliquées pour assurer la fiabilité de la connexion. Des soudures doivent être prévues pour la liaison des raccords et des conducteurs de mise à la terre des conteneurs, éléments de construction métalliques, cylindres et réservoirs.

Les connexions de liaison équipotentielle de foudre entre le système de protection contre la foudre et les autres installations/structures/matériels sont effectuées avec l'accord de l'opérateur. Les connexions de liaison équipotentielle de foudre utilisant des éclateurs ne peuvent être réalisées sans l'accord de l'opérateur. De tels dispositifs doivent être appropriés à l'environnement dans lequel ils sont installés.

D.5.2 Structures contenant des zones 2 et 22

Des structures contenant des zones définies comme zones 2 et 22 peuvent ne pas nécessiter de mesures de protection complémentaires.

Pour des installations métalliques extérieures (par exemple, colonnes, bobines de réactance, conteneurs comportant des zones 2 et 22) dont l'épaisseur et les matériaux satisfont aux exigences du Tableau 3, les règles suivantes s'appliquent:

- les dispositifs de capture et les conducteurs de descente ne sont pas prescrits;
- les installations doivent être mises à la terre selon l'Article 5.

D.5.3 Structures contenant des zones 1 et 21

Pour des structures contenant des zones définies comme zones 1 et 21, les exigences pour les zones 2 et 22 s'appliquent avec les compléments suivants:

- si des éléments isolants sont utilisés dans les canalisations, l'opérateur doit déterminer les mesures de protection. Par exemple, une décharge peut être évitée par l'utilisation d'éclateurs isolants anti-explosifs;
- les éclateurs d'isolement et les éléments isolants doivent être installés à l'extérieur des zones avec risque d'explosion.

D.5.4 Structures contenant des zones 0 et 20

Pour des structures contenant des zones définies comme zones 0 et 20, les exigences de D.5.3 s'appliquent, complétées par les recommandations spécifiées dans le présent article, selon le cas.

Pour les installations extérieures comportant des zones définies comme zones 0 et 20, les exigences pour les zones 1, 2, 21 et 22 s'appliquent avec les compléments suivants:

- les matériels électriques situés dans les réservoirs de liquides inflammables doivent être appropriés à cet usage. Des mesures de protection contre la foudre doivent être prises selon le type de construction;

- les conteneurs en acier fermés comportant des zones internes définies comme zones 0 et 20 doivent avoir une épaisseur de paroi conforme au Tableau 3 aux points potentiels d'impact de la foudre, à condition que l'élévation de température de la surface intérieure au point d'impact ne constitue pas un danger. Dans le cas de parois plus minces, des dispositifs de capture doivent être installés.

D.5.5 Applications particulières

D.5.5.1 Stations de carburant

Les canalisations métalliques des stations de remplissage pour automobiles, bateaux, etc. comportant des zones dangereuses doivent être mises à la terre selon l'Article 5. Ces canalisations doivent être raccordées avec des constructions et des traverses en acier lorsqu'elles existent (si nécessaire au moyen d'éclateurs d'isolement agréés pour la zone dangereuse dans laquelle elles sont installées), afin de tenir compte des courants de rail, courants vagabonds, fusibles des trains électriques, systèmes de protection cathodique contre la corrosion et analogues.

D.5.5.2 Réservoirs de stockage

Certains types de structures utilisées pour le stockage de liquides pouvant générer des vapeurs inflammables ou pour le stockage de gaz inflammables sont essentiellement auto-protégés (contenus entièrement dans des enveloppes métalliques continues d'une épaisseur non inférieure à 5 mm en acier ou 7 mm en aluminium, sans éclateurs) et ne nécessitent pas de protection complémentaire, à condition que l'élévation de température de la surface intérieure au point d'impact ne constitue pas un danger.

De même, les réservoirs et canalisations enterrés ne nécessitent pas l'installation de dispositifs de capture. Les instruments ou les circuits électriques utilisés dans ces matériels doivent être approuvés pour ce service. Des mesures de protection contre la foudre doivent être prises selon le type de construction.

Pour les réservoirs situés dans des parcs de stockage (par exemple, raffineries et dépôts), la mise à la terre de chaque réservoir en un seul point est suffisante. Les réservoirs doivent être interconnectés. Outre les connexions conformes aux Tableaux 8 et 9, les canalisations raccordées de manière à être électriquement conductrices selon 5.3.5 peuvent également être utilisées comme connexions.

NOTE Dans certains pays, des exigences complémentaires peuvent s'appliquer.

Les réservoirs ou conteneurs isolés doivent être mis à la terre conformément à l'Article 5 en fonction de la dimension horizontale la plus importante (diamètre ou longueur):

- jusqu'à 20 m, une seule mise à la terre;
- au-delà de 20 m, deux mises à la terre.

Dans le cas de réservoirs à toiture flottante, la toiture flottante doit être effectivement reliée à la coque principale du réservoir. La conception des joints et des dérivations et leur emplacement relatif doivent faire l'objet d'une attention toute particulière de manière que le risque d'inflammation d'un mélange explosif potentiel par une étincelle incendiaire soit réduit au niveau le plus faible possible. Lorsqu'une échelle mobile est fixée, un conducteur souple d'équipotentialité d'une largeur de 35 mm et d'une épaisseur minimale de 3 mm doit être appliqué entre les échelons, entre l'échelle et le sommet du réservoir, et entre l'échelle et la toiture flottante. Lorsqu'une échelle mobile n'est pas fixée sur le réservoir à toiture flottante, un ou plusieurs conducteurs souples d'équipotentialité (en fonction des dimensions du réservoir) d'une largeur de 35 mm et d'une épaisseur minimale de 3 mm, ou équivalent, doivent être appliqués entre la coque du réservoir et la toiture flottante. Les conducteurs d'équipotentialité doivent être disposés de manière à ne pas constituer une boucle entrante. Sur les réservoirs à toiture flottante, des connexions en dérivation multiples doivent être prévues entre la toiture flottante et la coque du réservoir environ tous les 1,5 m sur la périphérie du toit. Le choix des matériaux est fondé sur les exigences relatives au produit et/ou à l'environnement. D'autres moyens de connexion conductrice appropriée entre la toiture flottante et la coque du réservoir pour les courants pulsés associés aux décharges de foudre ne sont admis que s'ils ont été éprouvés par des essais et que si des méthodes sont appliquées pour assurer la fiabilité de la connexion.



D.5.5.3 Réseau de canalisations

Il convient de connecter les réseaux de canalisations métalliques aériens, situés à l'intérieur d'une installation de production mais à l'extérieur des unités de traitement, au réseau de mise à la terre tous les 30 m, ou il convient que leur mise à la terre soit effectuée au moyen d'une électrode de terre de surface ou d'une tige de terre. Il convient de ne pas tenir compte des supports isolants des canalisations.

D.6 Maintenance et inspection

D.6.1 Généralités

Tous les systèmes de protection contre la foudre mis en place et utilisés pour protéger les structures avec risque d'explosion doivent faire l'objet d'une maintenance et d'une inspection appropriées. Les exigences complémentaires à celles mentionnées à l'Article 7 se révèlent nécessaires pour l'inspection et la maintenance des systèmes de protection contre la foudre dans les structures avec risque d'explosion.

D.6.2 Exigences générales

Un plan de maintenance et d'inspection doit être élaboré pour les systèmes de protection installés. Des directives pour la maintenance du système de protection contre la foudre doivent être fournies ou jointes au programme existant une fois le SPF installé.

D.6.3 Qualifications

Seul le personnel qualifié ayant la formation et les compétences nécessaires doit être autorisé à effectuer des opérations de maintenance ou d'inspection, ainsi que des essais, sur le système de protection contre la foudre d'installations comportant des matériaux explosifs.

L'inspection nécessite de faire appel à du personnel qui

- a) possède les connaissances techniques et comprend les exigences théoriques et pratiques applicables à la mise en œuvre dans des zones dangereuses, ainsi que pour les matériels et les installations de SPF,
- b) comprend les exigences relatives aux inspections visuelles et exhaustives, associées aux matériels et installations de SPF mis en place.

NOTE 1 Les compétences et la formation peuvent être définies dans des cadres de formation et d'évaluation nationaux appropriés.

D.6.4 Exigences en matière d'inspection

Pour s'assurer de l'état satisfaisant pérenne des installations, en vue de leur utilisation continue

- a) des inspections périodiques régulières, et/ou
- b) une surveillance continue assurée par du personnel qualifié, et

si nécessaire, des opérations de maintenance doivent être effectuées.

Suite à toute opération d'ajustement, de maintenance, de réparation, de remise en état, de modification ou de remplacement, les matériels ou éléments de matériels appropriés concernés doivent faire l'objet d'une inspection.

D.6.4.1 Inspections périodiques régulières

Le personnel chargé des inspections périodiques régulières doit être suffisamment exempt des exigences liées aux activités de maintenance, par exemple, pour ne pas remettre en cause leur aptitude à rendre compte avec fiabilité des résultats de l'inspection effectuée.

NOTE Il n'est pas nécessaire que ce personnel soit membre d'un organisme indépendant externe.

D.6.4.2 Concept de surveillance continue par du personnel qualifié

La surveillance continue a pour objectif de permettre une détection précoce des défauts constatés et leur réparation ultérieure. Cette surveillance repose sur le personnel qualifié effectif présent sur le site de l'installation dans le cadre de son activité normale (par exemple, travaux de montage et d'assemblage, modifications, inspections, travaux de maintenance, contrôle des défauts, travaux de nettoyage, contrôles divers, réalisation de connexions et de déconnexions par bornes, essais de fonctionnement, mesures) et dont les compétences lui permettent de détecter les défauts et modifications dès l'origine.

Lorsqu'une installation fait l'objet d'une inspection régulière, dans le cadre de l'activité normale, par du personnel qualifié qui, outre le fait de satisfaire aux exigences de a) et b) de D.6.3,

- a) est conscient des conséquences du processus et de l'environnement sur la détérioration des matériels spécifiques de l'installation concernée, et
- b) doit effectuer des inspections visuelles et/ou exhaustives dans le cadre de son programme normal de travail, ainsi que des inspections détaillées,

il peut alors être possible de ne pas effectuer d'inspection périodique régulière et de faire appel au personnel qualifié, dont la présence est régulière, pour assurer l'intégrité permanente des matériels.

Le recours à une surveillance continue par du personnel qualifié ne libère pas de l'obligation de satisfaire aux exigences d'effectuer des inspections initiales et par échantillonnage.

D.6.5 Exigences relatives aux essais électriques

Le système de protection contre la foudre doit faire l'objet d'essais électriques

- a) tous les 12 (+2) mois, ou
- b) la prévision précise d'une fréquence d'inspection périodique appropriée représente une question complexe. Le degré d'inspection et l'intervalle entre les inspections périodiques doivent être déterminés compte tenu du type de matériels, des recommandations du fabricant, le cas échéant, des facteurs régissant leur détérioration et des résultats des inspections antérieures.

Lorsque des degrés et des intervalles d'inspection ont été établis pour des matériels, installations et environnements similaires, la détermination de la stratégie d'inspection doit tenir compte de cette expérience.

Il convient que les intervalles entre les inspections périodiques dépassant trois ans soient fondés sur une évaluation qui inclut des informations pertinentes.

Il convient d'effectuer les opérations de maintenance et d'inspection du système de protection contre la foudre conjointement aux opérations de maintenance et d'inspection de toutes les autres installations électriques situées dans des zones dangereuses. Elles doivent par ailleurs être intégrées au programme de maintenance.

Les instruments utilisés pour les essais doivent être conformes à la CEI 61557-4.



La résistance CC de tout objet simple relié au système de protection contre la foudre ne doit pas être supérieure à 0,2 Ω .

L'essai doit être effectué conformément aux instructions appropriées du fabricant du matériel d'essai.

D.6.6 Méthodes d'essai de résistance de terre

Seuls les instruments conçus spécialement pour les essais de résistance de terre doivent pouvoir être utilisés dans cette application.

Les instruments d'essai doivent faire l'objet d'un entretien et d'un étalonnage appropriés, conformément aux instructions du fabricant.

Une méthode d'essai de résistance de terre à trois points doit si possible être utilisée pour mesurer la résistance de terre des installations explosives.

D.6.7 Protection contre les tensions de choc

Les parafoudres (et leurs sectionneurs externes lorsqu'ils sont fournis) doivent faire l'objet d'une inspection conformément aux instructions du fabricant à des intervalles maximum de 12 mois ou lorsque des essais électriques du SPF sont effectués. Les parafoudres doivent également faire l'objet d'une inspection après tout coup de foudre ayant prétendument frappé la structure.

D.6.8 Réparations

Le personnel de maintenance doit veiller à ce que les réparations de toutes les anomalies constatées lors des inspections soient effectuées dans un délai acceptable.

D.6.9 Enregistrements et documentation

Toute indication de dommage engendré par un coup de foudre à une structure ou à son SPF doit être immédiatement documentée et consignée dans un rapport.

Des historiques des opérations de maintenance et d'inspection doivent être tenus à jour pour chaque installation en vue d'une analyse des tendances.

Annexe E (informative)

Lignes directrices pour la conception, la mise en œuvre, la maintenance et l'inspection des systèmes de protection contre la foudre

E.1 Généralités

La présente annexe donne des lignes directrices sur la conception physique, la mise en œuvre, la maintenance et l'inspection d'un système de protection contre la foudre (SPF) conforme à la présente norme.

Il convient d'utiliser la présente annexe seulement en connexion avec les autres parties de la présente norme.

Des exemples sont donnés pour les techniques de protection ayant fait l'objet d'un accord entre les experts internationaux.

NOTE Les exemples donnés dans la présente annexe illustrent une méthode de protection possible. D'autres méthodes peuvent être également utilisées.

E.2 Structure de la présente annexe

Dans la présente annexe, la numérotation des principaux articles suit, le cas échéant, celle de la partie principale. Cela facilite la lecture des deux parties.

Afin de respecter cette numérotation, l'Article E.3 n'est pas utilisé dans la présente annexe.

E.3 Vacant

E.4 Conception des systèmes de protection contre la foudre (SPF)

E.4.1 Remarques générales

Il convient toujours de mettre en balance la mise en œuvre d'un SPF pour une structure existante avec d'autres mesures de protection contre la foudre conformément à la présente norme donnant le même niveau de protection pour des coûts réduits. Pour le choix des mesures de protection les plus appropriées, la EN 62305-2 s'applique.

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

Il convient que le concepteur et l'installateur d'un SPF soient capables d'évaluer tant les effets électriques que mécaniques des décharges de foudre et soient familiarisés avec les principes généraux de la compatibilité électromagnétique (CEM).

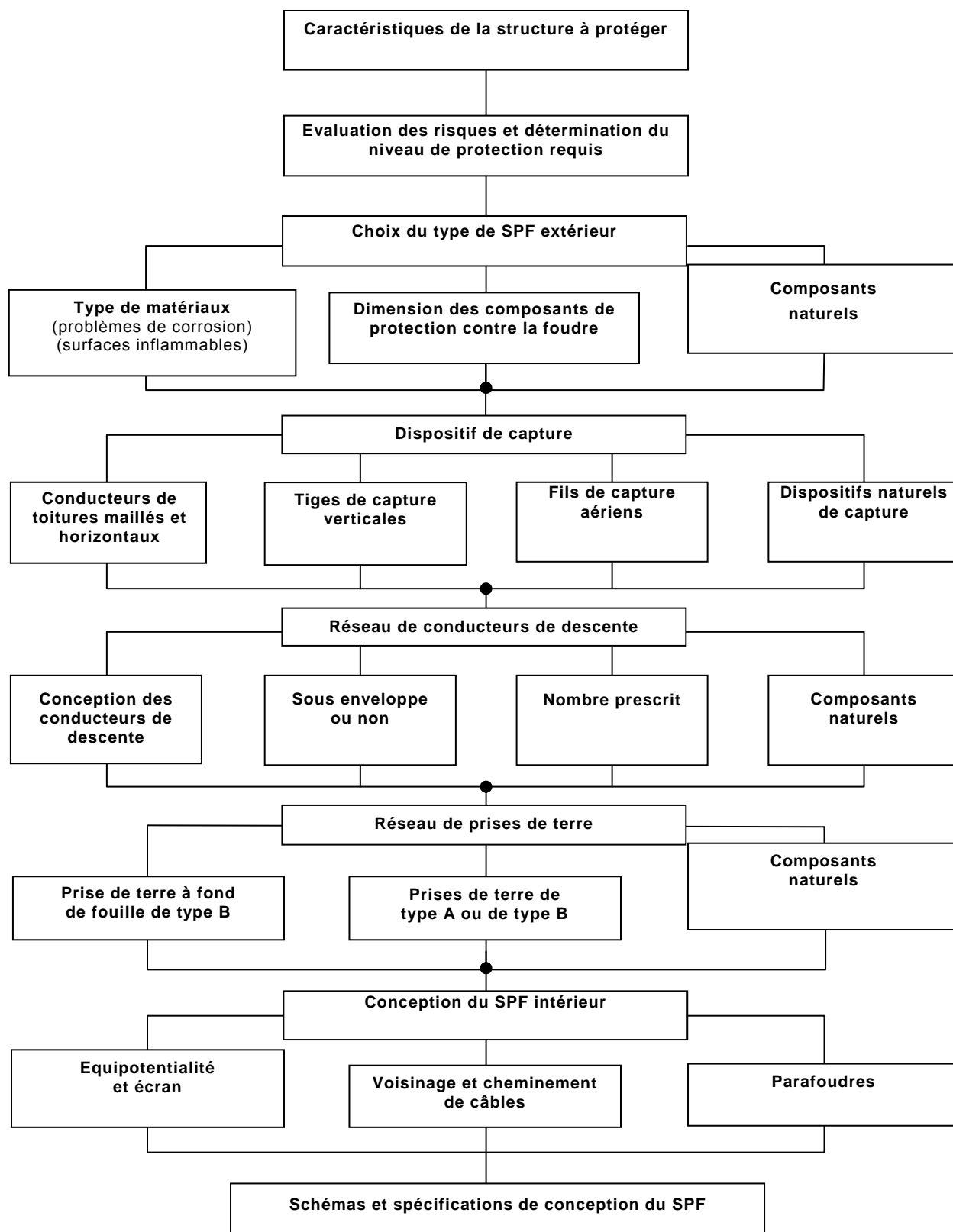
De plus, il convient que le concepteur du système de protection contre la foudre soit capable d'évaluer les effets de la corrosion et de déterminer le moment où il est nécessaire de consulter un expert.

Il convient que le concepteur et l'installateur du système de protection contre la foudre soient formés à la conception et à l'installation correctes des composants du SPF conformément aux exigences de la présente norme et aux règlements nationaux régissant les ouvrages de construction et la construction de bâtiments.



Les fonctions de concepteur/installateur d'un SPF peuvent être exécutées par la même personne. Pour être un concepteur ou un installateur spécialisé, il est nécessaire de bien connaître les normes pertinentes et d'avoir plusieurs années d'expérience.

La planification, la mise en œuvre et la vérification par essai d'un SPF couvrent divers domaines techniques et exigent une coordination de tous les corps impliqués dans la construction de la structure afin d'assurer la réalisation du niveau de protection contre la foudre choisi à moindre coût et avec le moins d'efforts possibles. Il convient que la mise en œuvre du SPF soit efficace si les étapes de la Figure E.1 sont respectées. Les mesures d'assurance de la qualité sont de la plus haute importance en particulier pour les structures comportant des installations extensives électriques et électroniques.



IEC 2659/10

NOTE Les interfaces ● nécessitent la coopération complète entre l'architecte, l'ingénieur et le concepteur du système de protection contre la foudre.

Figure E.1 – Schéma de conception d'un SPF

Les mesures d'assurance de la qualité commencent à l'étape de planification dans laquelle il convient d'approuver tous les schémas et se poursuivent au niveau de l'étape de mise en œuvre du SPF au cours de laquelle il convient de vérifier toutes les parties essentielles du SPF non accessibles à des fins d'inspection une fois les travaux de construction achevés. Les mesures d'assurance de la qualité s'appliquent encore à l'étape d'agrément lorsqu'il convient d'effectuer les mesures finales sur le SPF en conformité avec la documentation de l'essai final, et continuent d'être appliquées durant toute la durée de vie du SPF, par la spécification de vérifications périodiques minutieuses conformes au programme de maintenance.

Lorsque des modifications sont apportées à la structure ou à ses installations, il convient d'effectuer une vérification pour déterminer si la protection contre la foudre existante est toujours conforme à la présente norme. S'il s'avère que la protection est inappropriée, il convient de procéder immédiatement à des améliorations.

Il est recommandé que les matériaux, l'étendue et les dimensions du dispositif de capture, des conducteurs de descente, du réseau de prises de terre, de l'équipotentialité, des composants, etc. soient conformes à la présente norme.

E.4.2 Conception du SPF

E.4.2.1 Procédure de planification

Avant de procéder à toute étude détaillée du SPF, il convient que le concepteur du système de protection contre la foudre dispose d'informations de base, lorsque la pratique le permet, concernant la fonction, la conception générale, la mise en œuvre et l'emplacement de la structure.

Lorsque le SPF n'a pas déjà été spécifié par l'autorité de délivrance des licences, l'assureur ou l'acheteur, il convient que le concepteur du système de protection contre la foudre détermine si la structure doit être ou non protégée par un SPF en suivant les procédures d'évaluation des risques données dans la EN 62305-2.

E.4.2.2 Consultation

E.4.2.2.1 Informations générales

Dans les étapes de conception et de mise en œuvre d'une nouvelle structure, il convient que le concepteur et l'installateur du SPF, ainsi que toutes les autres personnes responsables des installations dans la structure, ou des règlements relatifs à l'usage de la structure (par exemple, l'acheteur, l'architecte et le constructeur) se consultent régulièrement.

Le diagramme de la Figure E.1 facilite la conception rationnelle d'un SPF.

Dans les étapes de conception et de mise en œuvre d'un SPF dans une structure existante, il convient de prévoir des consultations, dans la mesure où la pratique le permet, entre les personnes responsables de la structure, de son usage, des installations et des services entrants.

Les consultations peuvent avoir lieu entre le propriétaire, le maître d'œuvre de la construction de la structure ou leur représentant attitré. Pour les structures existantes, il convient que le concepteur du SPF fournisse les schémas qu'il convient que l'installateur modifie, si nécessaire.

Il convient que les consultations régulières entre les parties impliquées permettent de réaliser un SPF efficace au plus faible coût possible. Par exemple, la coordination des travaux de conception du SPF et de mise en œuvre permet souvent d'éviter les connexions des conducteurs d'équipotentialité et de réduire la longueur de ceux qui sont nécessaires. Les coûts de mise en œuvre sont souvent réduits de manière considérable par la disposition de cheminements communs pour des installations diverses dans une même structure.

La consultation est importante à toutes les étapes de la mise en œuvre d'une structure, des modifications du SPF pouvant être nécessaires du fait de changements dans la conception de la structure. La consultation est aussi nécessaire afin de parvenir à des accords destinés à faciliter la vérification des parties du SPF qui deviendront inaccessibles pour un contrôle visuel une fois la structure achevée. Lors de ces consultations, il convient de déterminer l'emplacement de toutes les connexions entre les composants naturels et le SPF. Les architectes sont normalement aptes à coordonner les consultations pour de nouveaux projets de construction.

E.4.2.2 Principales parties consultées

Il convient que le concepteur du système de protection contre la foudre mène des consultations techniques appropriées avec toutes les parties impliquées dans la conception et la mise en œuvre de la structure, y compris le propriétaire de cette dernière.

Il convient que les zones particulières de responsabilité pour l'installation complète du SPF soient définies par le concepteur de ce dernier en liaison avec l'architecte, l'électricien, le maître d'œuvre de la construction et l'installateur du SPF (fournisseur) et, le cas échéant, avec un conseiller historique, le propriétaire ou son représentant.

La répartition des responsabilités des différentes parties impliquées dans la gestion de la conception et de la mise en œuvre du SPF est particulièrement importante. Un exemple illustratif peut être l'étanchéité de la structure affectée par les composants du SPF montés sur le toit ou par les connexions des prises de terre sous la fondation de la structure.

E.4.2.2.1 Architecte

Il convient de parvenir à un accord avec l'architecte sur les points suivants:

- a) le cheminement de tous les conducteurs du SPF;
- b) les matériaux des composants du SPF;
- c) les détails de toutes les tuyauteries et gouttières métalliques, et de tous les rails et éléments similaires;
- d) les détails des matériels, appareils, installations susceptibles d'être installés sur, à l'intérieur ou à proximité de la structure, pouvant nécessiter le déplacement des installations ou une équipotentialité avec le SPF due à la distance de séparation. Les exemples d'installations sont les systèmes d'alarme et de sécurité, réseaux internes de communication, systèmes de traitement des données et des signaux, et circuits de radio et télévision;
- e) l'extension de tout service conducteur enterré susceptible d'influer sur l'emplacement du réseau de prises de terre et de devoir être placé à une distance de sécurité du SPF;
- f) la zone générale disponible pour le réseau de prises de terre;
- g) l'extension des travaux et la répartition des responsabilités pour les fixations primaires du SPF sur la structure. Par exemple, les responsabilités affectant la tenue à l'eau des matériaux (principalement ceux des toitures), etc.;
- h) les matériaux conducteurs à utiliser dans la structure, particulièrement tout métal continu pouvant devoir faire l'objet d'une équipotentialité avec le SPF, par exemple, liaisons, armature d'acier et services métalliques pénétrant, quittant ou internes à la structure;
- i) l'impact visuel du SPF;
- j) l'impact du SPF sur les matériaux de la structure;
- k) l'emplacement des points de connexion sur l'armature d'acier, particulièrement à la pénétration des parties conductrices extérieures (canalisations, écrans de câbles, etc.);
- l) les connexions du SPF au SPF des bâtiments adjacents.



E.4.2.2.2.2 Services publics

Il convient de parvenir à un accord avec l'opérateur ou les autorités responsables pour l'équipotentialité directe des services entrants, ou à défaut par des éclateurs d'isolement, dans la mesure où il peut exister des exigences contradictoires.

E.4.2.2.2.3 Pompiers et services de sécurité

Il convient de parvenir à un accord avec les pompiers et les services de sécurité sur les points suivants:

- l'emplacement des composants des systèmes d'alarme et des systèmes d'extinction d'incendie;
- les cheminements, matériaux de construction et étanchéité des canalisations;
- la méthode de protection à utiliser dans le cas d'une structure à toiture inflammable.

E.4.2.2.2.4 Installateurs de réseaux de communication et d'antennes extérieures

Il convient de parvenir à un accord avec l'installateur des réseaux de communication et d'antennes extérieures sur les points suivants:

- l'isolation ou l'équipotentialité des supports aériens et des gaines des câbles avec le SPF;
- le cheminement des câbles aériens et du réseau intérieur;
- l'installation de parafoudres.

E.4.2.2.2.5 Constructeur et installateur

Il convient de parvenir à un accord, sur les points suivants, entre le constructeur, l'installateur et les responsables de la mise en œuvre de la structure et de son matériel technique:

- a) la forme, la position et le nombre de fixations primaires du SPF à fournir par le constructeur;
- b) toute fixation fournie par le concepteur du SPF (l'installateur ou le fournisseur) à installer par le constructeur;
- c) l'emplacement des conducteurs du SPF à placer sous la structure;
- d) si des composants du SPF doivent être utilisés lors de l'étape de mise en œuvre, par exemple, le réseau de prises de terre permanent peut être utilisé pour les grues, treuils et autres matériels métalliques lors des travaux de construction sur le site;
- e) pour les structures en acier, le nombre et l'emplacement des liaisons et la forme de fixation à réaliser pour la connexion des réseaux de prises de terre et autres composants du SPF;
- f) si des enveloppes métalliques, lorsqu'elles sont utilisées, sont des composants appropriés pour le SPF;
- g) la méthode pour s'assurer de la continuité électrique des parties individuelles des enveloppes et leur méthode de connexion aux autres composants du SPF lorsque les enveloppes métalliques sont des composants appropriés pour le SPF;
- h) la nature et l'emplacement des services pénétrant dans la structure sur et en dessous du sol, y compris les systèmes de convoyage, les antennes de télévision et de radio et leurs supports métalliques, les tubes de foyer métalliques et les potences de nettoyage de vitres;
- i) la coordination entre le réseau de prises de terre du SPF de la structure et l'équipotentialité des services de puissance et de communication;
- j) 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;

- k) la méthode de construction des toitures et cloisons à employer afin de déterminer les méthodes de fixation appropriées des conducteurs du SPF, particulièrement pour maintenir l'étanchéité de la structure;
- l) la disposition d'ouvertures dans la structure pour permettre le libre passage de conducteurs de descente du SPF;
- m) la disposition de connexions d'équipotentialité avec les armatures d'acier, barres de renforcement et autres parties conductrices de la structure;
- n) la fréquence de vérifications des composants du SPF qui deviennent inaccessibles, par exemple, barres en acier renforcées incorporées dans le béton;
- o) le choix le plus judicieux du métal des conducteurs en tenant compte de la corrosion, en particulier au point de contact entre des métaux différents;
- p) l'accessibilité des bornes d'essai, la disposition d'une protection par des enveloppes non métalliques contre les chocs mécaniques ou le vol, l'affalement de mâts ou autres objets mobiles, des installations pour une inspection périodique, en particulier pour les cheminées;
- q) la préparation de schémas comportant les détails ci-dessus et montrant les emplacements de tous les conducteurs et composants principaux;
- r) l'emplacement des points de connexion sur l'armature d'acier.

E.4.2.3 Exigences électriques et mécaniques

E.4.2.3.1 Conception électrique

Il convient que le concepteur du SPF choisisse le SPF approprié pour obtenir la construction la plus efficace. Cela signifie la prise en compte par l'architecte de la conception de la structure afin de déterminer s'il convient d'utiliser un SPF isolé ou non isolé, ou une combinaison des deux types de système de protection contre la foudre.

Il convient d'effectuer les essais de résistivité du sol de préférence avant la finalisation de la conception d'un SPF et de tenir compte des variations saisonnières de cette même résistivité.

Lors de la réalisation de la conception électrique de base du SPF, il convient de considérer l'utilisation de parties conductrices appropriées de la structure comme des composants naturels du SPF à des fins de renforcement ou d'application comme composants essentiels du SPF.

L'évaluation des propriétés électriques et physiques des composants naturels du SPF et l'assurance qu'ils sont conformes aux exigences minimales de la présente norme relève de la responsabilité du concepteur du SPF.

L'utilisation d'armatures métalliques, comme le béton armé, en tant que conducteurs de protection contre la foudre nécessite une attention toute particulière et la connaissance des normes nationales de construction applicables à la structure à protéger. L'armature métallique du béton armé peut être utilisée comme conducteurs SPF ou comme une couche conductrice armée pour réduire les champs électromagnétiques induits par la foudre dans la structure, les courants de foudre s'écoulant dans un SPF isolé. Ce type de SPF facilite la protection, en particulier pour les structures à usage particulier comportant des installations denses électriques et électroniques.

Une spécification de mise en œuvre stricte pour les conducteurs de descente est nécessaire pour satisfaire aux exigences minimales des composants naturels données en 5.3.5.

E.4.2.3.2 Conception mécanique

Il convient que le concepteur du système de protection contre la foudre consulte les personnes responsables de la structure sur les conceptions mécaniques après la réalisation de la conception électrique.



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

Les dimensions minimales des composants des différentes parties du système de protection contre la foudre sont données dans les Tableaux 3, 6, 7, 8 et 9.

Les matériaux utilisés pour les composants du SPF sont donnés dans le Tableau 5.

NOTE D'autres composants, tels que les tiges et fixations, il convient de choisir par référence à la future série de la EN 50164. Cela assure la prise en compte de l'élévation de température et de la tenue mécanique de ces composants.

Lorsque des écarts sont observés par rapport aux dimensions et matériaux spécifiés dans les Tableaux 5, 6 et 7, utilisant les paramètres électriques de décharge de foudre spécifiés pour la classe de SPF choisi indiqué au Tableau 1, il convient que le concepteur ou l'installateur du système de protection contre la foudre prévoie l'élévation de température des conducteurs du système de protection contre la foudre dans des conditions de décharge et qu'il dimensionne les conducteurs en conséquence.

Lorsqu'une élévation de température excessive constitue une source de préoccupation pour la surface adjacente des composants (en raison de sa combustibilité ou 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 l'utilisation de fixations murales ou l'insertion de couches résistantes au feu.

Il convient que le concepteur du SPF identifie toutes les zones présentant un problème de corrosion et spécifie les mesures appropriées.

Les effets de la corrosion sur le SPF peuvent être réduits soit par augmentation des dimensions des matériaux, soit par utilisation de composants résistant à la corrosion ou par l'adoption d'autres mesures de protection contre la corrosion.

Il convient que le concepteur et l'installateur du SPF spécifient les fixations des conducteurs et les fixations qui résistent aux contraintes électrodynamiques du courant de foudre circulant dans les conducteurs et permettent également la dilatation et la contraction des conducteurs dues à l'élévation effective de température.

Ceci convient d'être réalisé en utilisant les composants soumis à essai conformément à la future série EN 50164.

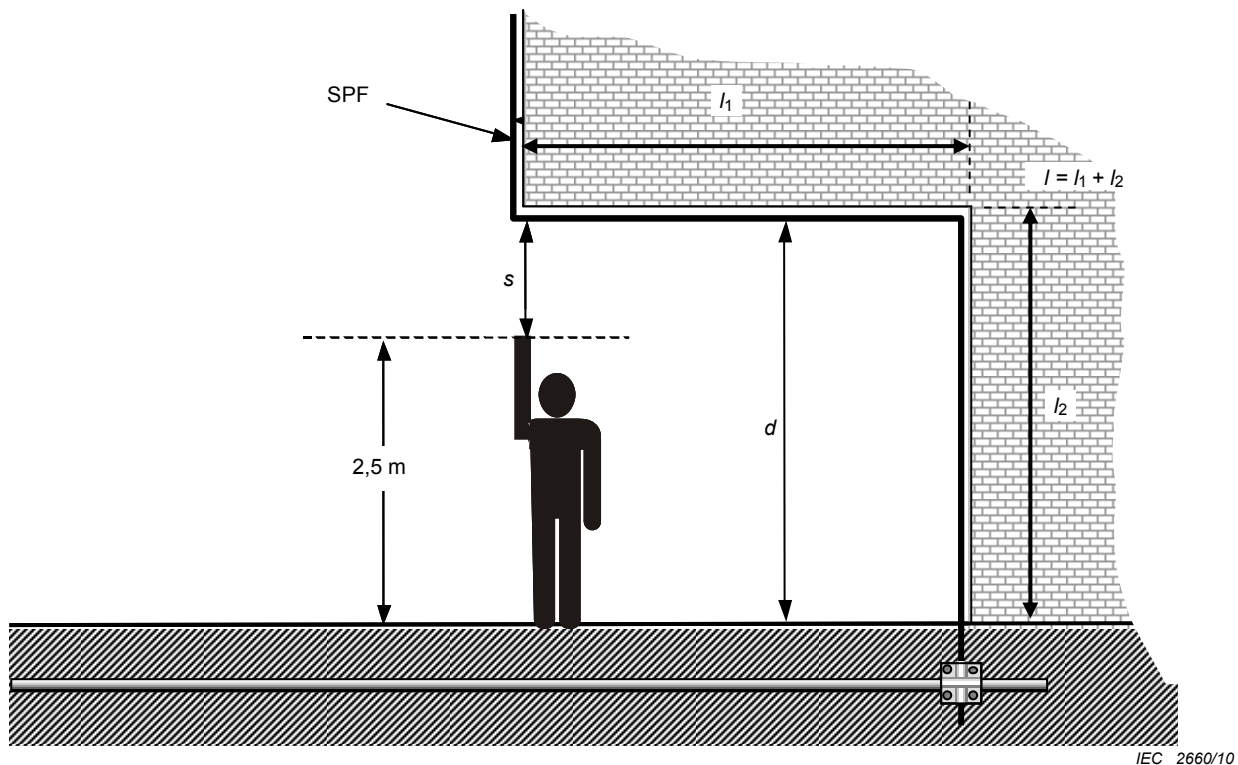
E.4.2.3.3 Structure en encorbellement

Pour réduire la probabilité qu'une personne se tenant sous une structure en encorbellement constitue un chemin alternatif pour le courant de foudre s'écoulant dans le conducteur de descente sur l'encorbellement, il convient que la distance réelle d , en mètres, satisfasse à la condition suivante:

$$d > 2,5 + s \quad (\text{E.1})$$

où s est la distance de séparation en mètres calculée conformément à 6.3.

La valeur 2,5 est représentative de la hauteur du bout des doigts d'une main d'un homme dont le bras est tendu à la verticale (voir Figure E.2).



Légende

- d distance réelle $> s$
 s distance de séparation selon 6.3
 l longueur pour le calcul de la distance de séparation s

NOTE La hauteur de la personne, main levée, est prise égale à 2,5 m.

Figure E.2 – Conception d'un système de protection contre la foudre pour l'encorbellement d'une structure

Des boucles dans un conducteur, tel qu'illustré à la Figure E.2, peuvent induire des chutes de tension inductives élevées, susceptibles de provoquer le passage d'une décharge de foudre à travers la paroi d'une structure, entraînant de ce fait des dommages.

Si les conditions décrites en 6.3 ne sont pas satisfaites, il convient de prendre des dispositions pour un cheminement direct à travers la structure, aux points de ré-entrée des boucles du conducteur de protection contre la foudre, pour les conditions illustrées à la Figure E.2.

E.4.3 Structures en béton armé

E.4.3.1 Généralités

Les structures industrielles comportent fréquemment des sections en béton armé réalisées sur place. Dans de nombreux autres cas, les parties de la structure peuvent consister en des panneaux préfabriqués de béton ou en des parties métalliques.

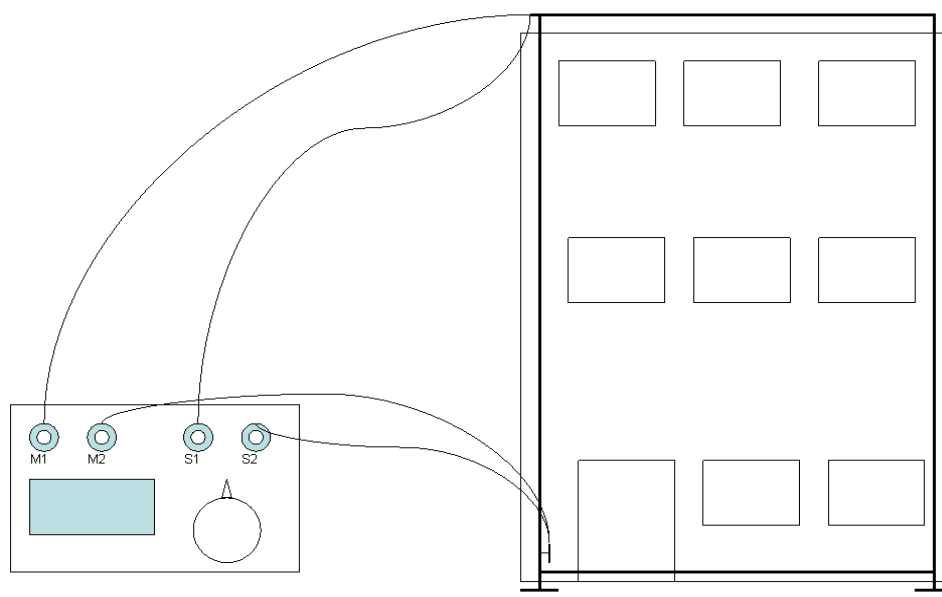
Une armature d'acier dans les structures en béton armé conformes à 4.3 peut être utilisée comme composant naturel du SPF.

Ces composants naturels doivent satisfaire aux exigences applicables aux:

- conducteurs de descente conformes à 5.3;
- réseaux de prises de terre conformes à 5.4.

L'exigence relative à une résistance totale maximale de $0,2 \, \Omega$ peut être vérifiée par la mesure de la résistance entre le dispositif de capture et une prise de terre au niveau du sol, en utilisant le matériel d'essai approprié à l'application capable d'effectuer des mesures dans une configuration à quatre conducteurs (deux conducteurs de mesure et deux conducteurs de détection) tel qu'illustré à la Figure E.3. Il convient que le courant de mesure qui s'écoule soit de l'ordre de 10 A environ.

NOTE 1 Lorsque l'accès aux zones d'essai ou le cheminement des câbles d'essai se révèlent difficiles, une barre dédiée d'une position élevée à faible peut être prévue afin de pourvoir effectuer les essais à chaque point concerné. Il est alors possible de calculer la résistance totale des jonctions plus la résistance du conducteur de descente.



IEC 2661/10

Figure E.3 – Mesure de la résistance électrique totale

De plus, il convient que les armatures d'acier conductrices du béton, lorsqu'elles sont convenablement utilisées, forment l'épine dorsale de l'équipotentialité du système de protection contre la foudre intérieur selon 6.2.

En outre, l'armature d'acier de la structure, peut, le cas échéant, jouer le rôle d'écran électromagnétique facilitant la protection des matériels électriques et électroniques contre les interférences dues aux champs électromagnétiques de foudre conformément à la EN 62305-4.

Si l'armature du béton et toutes autres constructions en acier d'une structure sont connectées à la fois intérieurement et extérieurement de sorte que la continuité électrique est conforme à 4.3, une protection efficace peut être obtenue contre les dommages physiques.

Le courant qui s'écoule dans les tiges de renfort est supposé se répartir dans un grand nombre de chemins parallèles. L'impédance de la maille résultante est donc faible et, en conséquence, la chute de tension due au courant de foudre l'est également. Le champ magnétique généré par le passage du courant dans les mailles des armatures d'acier est faible en raison de la faible densité de courant et des cheminements parallèles des courants créant des champs électromagnétiques opposés. Les interférences avec les conducteurs électriques internes voisins sont réduites en conséquence.

NOTE Pour la protection contre les perturbations électromagnétiques, voir la EN 62305-4 et la CEI/TR 61000-5-2^[5].

Lorsqu'une pièce est totalement enveloppée par des murs en béton armé dont la continuité électrique est conforme à 4.3, le champ magnétique dû au passage du courant de foudre dans les armatures à proximité des parois est plus faible que celui qui existerait dans une pièce d'une structure protégée avec des conducteurs de descente conventionnels. En raison des tensions induites réduites dans les boucles de conducteurs installées dans la pièce, la protection contre les défaillances des réseaux internes peut être améliorée aisément.

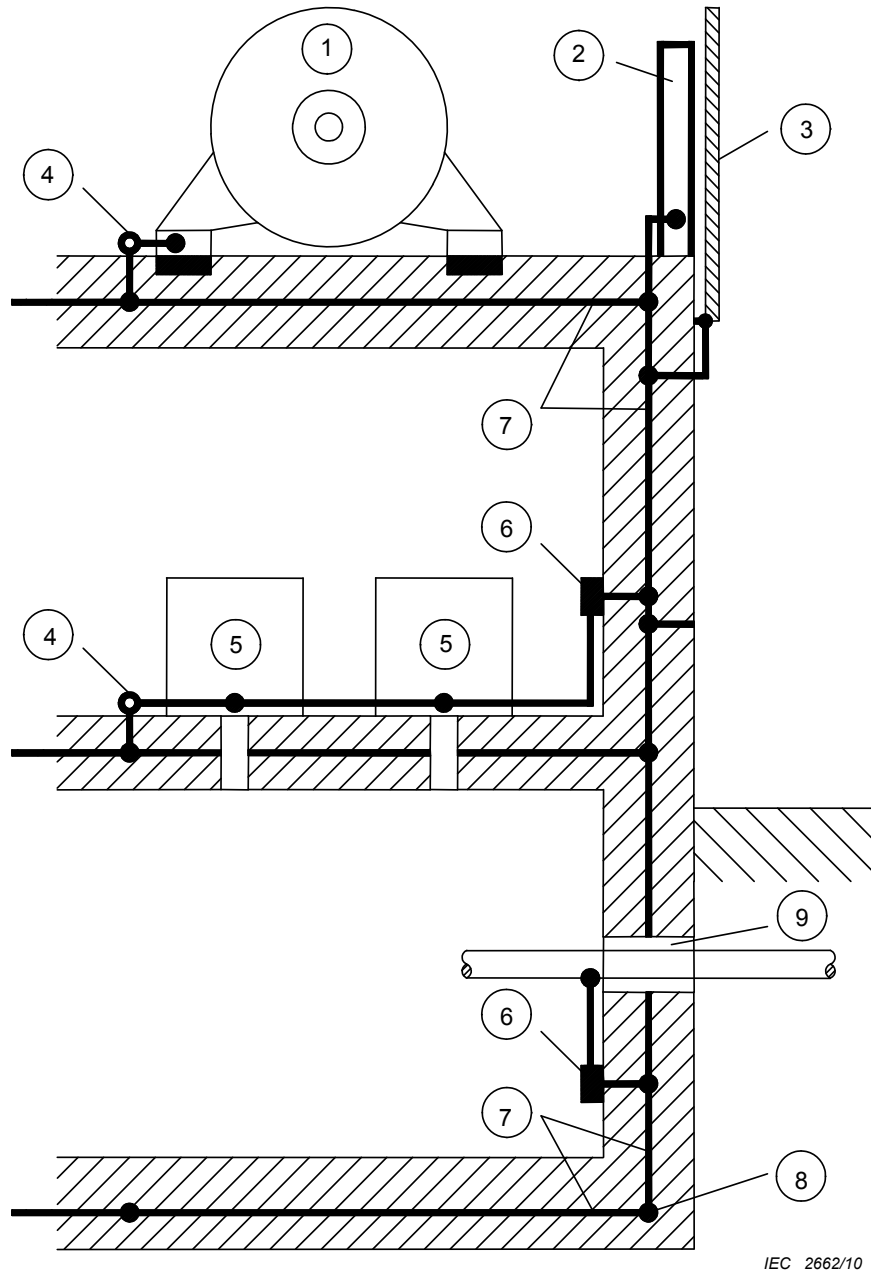
Après l'étape de mise en œuvre, il est quasiment impossible de déterminer l'emplacement et la mise en œuvre des armatures d'acier. Il convient par conséquent que l'emplacement des armatures d'acier pour la protection contre la foudre soit très bien documenté. Cela peut être réalisé par l'utilisation de schémas, descriptions et photographies prises lors de la mise en œuvre.

E.4.3.2 Utilisation des armatures en béton

Il convient de prévoir des conducteurs d'équipotentialité ou des prises de terre afin de fournir une connexion électrique fiable aux armatures d'acier.

Les cadres conducteurs qui, par exemple, sont reliés à la structure peuvent être utilisés comme conducteurs naturels du SPF et comme points de connexion pour le réseau interne d'équipotentialité.

Un exemple pratique est l'utilisation d'ancrages de fondation, rails de machines, appareils ou enveloppes, permettant de réaliser l'équipotentialité. La Figure E.4 illustre la disposition des armatures et des barres d'équipotentialité dans une structure industrielle.



IEC 2662/10

Légende

- | | |
|---------------------------------------|--|
| 1 matériel électrique de puissance | 6 barre d'équipotentialité |
| 2 poutre métallique | 7 armature d'acier dans le béton (avec conducteurs maillés superposés) |
| 3 enveloppe métallique de façade | 8 prise de terre à fond de fouille |
| 4 borne d'équipotentialité | 9 point de pénétration commun des différents services |
| 5 matériel électrique ou électronique | |

Figure E.4 – Equipotentialité dans une structure avec armature d'acier

Il convient que l'emplacement des bornes d'équipotentialité de la structure soit spécifié au stade initial de la conception du SPF et signalé au maître d'œuvre des travaux de génie civil.

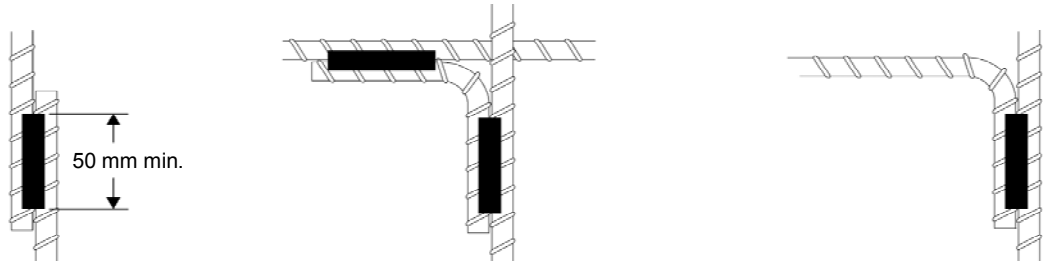
Il convient de consulter le maître d'œuvre pour déterminer si le soudage aux tiges de renfort est admis, si une fixation par serrage est possible, ou s'il convient d'installer des conducteurs supplémentaires. Il convient que tous les travaux nécessaires soient réalisés et inspectés avant le coulage du béton (c'est-à-dire qu'il convient de réaliser la planification du SPF conjointement à la conception de la structure).

E.4.3.3 Soudage ou serrage sur les tiges de renfort en acier

Il convient de réaliser la continuité des tiges de renfort par serrage ou soudure.

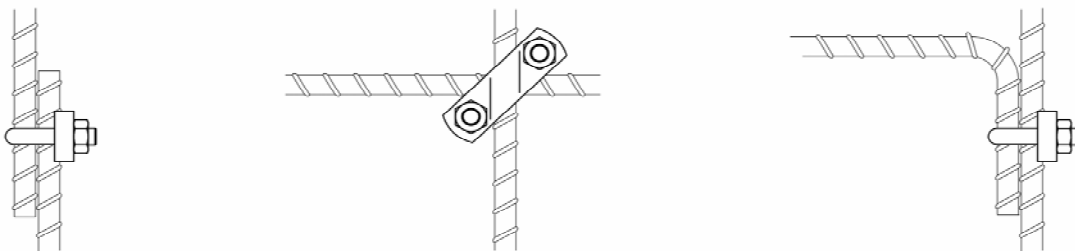
NOTE Il convient d'utiliser des brides de serrage conformes à la série de normes EN 50164.

La soudure aux tiges de renfort n'est permise qu'avec l'accord du concepteur des travaux de génie civil. Il convient que les tiges de renfort soient soudées sur une longueur au moins égale à 50 mm (voir Figure E.5).



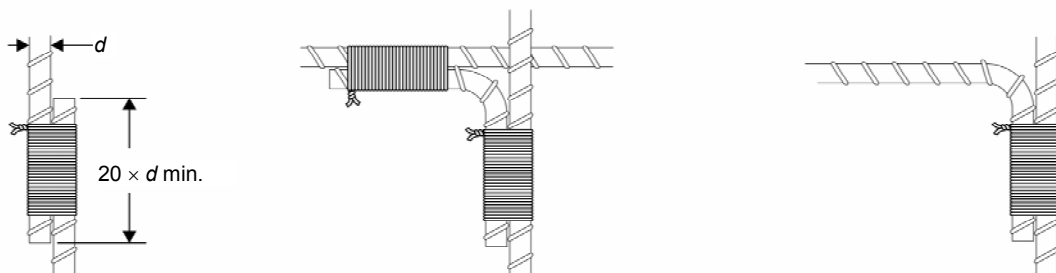
IEC 2663/10

Figure E.5a - Jonctions soudées (adaptées au courant de foudre et à la CEM)



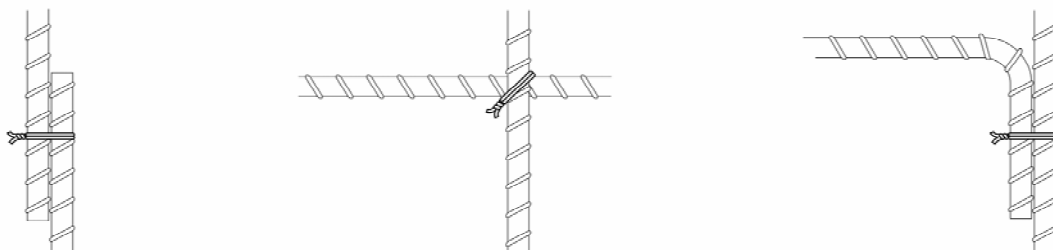
IEC 2664/10

Figure E.5b – Jonctions par serrage conformes à la future EN 50164 (adaptées au courant de foudre et à la CEM)



IEC 2665/10

Figure E.5c – Jonctions liées (adaptées au courant de foudre et à la CEM)



IEC 2666/10

Figure E.5d – Jonctions ligaturées (adaptées uniquement à la CEM)

Figure E.5 – Méthodes typiques de jonction des tiges de renfort dans le béton (lorsque cela est admis)

Il convient que la connexion aux composants extérieurs du système de protection contre la foudre soit réalisée par une tige de renfort faisant saillie dans le béton, à un emplacement prévu ou par une tige de connexion ou une prise de terre traversant le béton et soudée ou serrée sur les tiges de renfort.

Lorsque des connexions entre les tiges de renfort du béton et le conducteur d'équipotentialité sont réalisées par serrage, il convient de toujours utiliser deux conducteurs d'équipotentialité (ou un conducteur d'équipotentialité avec deux fixations à des barres de renforcement différentes) à des fins de sécurité, dans la mesure où les connexions ne peuvent pas être inspectées après durcissement du béton. Si le conducteur d'équipotentialité et la tige de renfort sont des éléments métalliques de nature différente, il convient que la zone de connexion soit complètement enrobée par un composé antimoisissure.

La Figure E.6 montre des fixations utilisées pour les connexions des tiges de renfort et des conducteurs pleins et plats. La Figure E.7 montre des détails de connexion d'un système externe aux tiges de renfort.

Il convient de dimensionner les conducteurs d'équipotentialité pour un courant partiel de foudre s'écoulant au point de jonction (voir Tableaux 8 et 9).

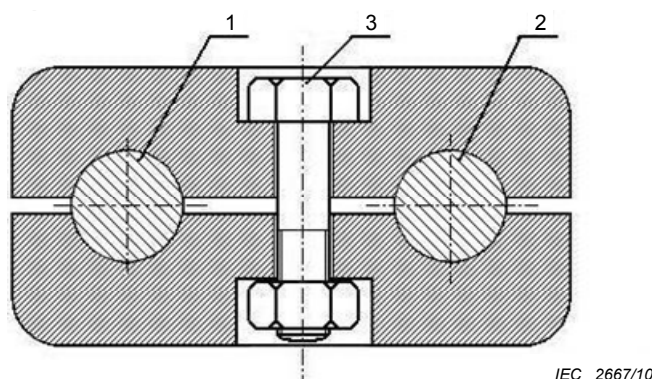


Figure E.6a – Conducteur rond à une tige de renfort

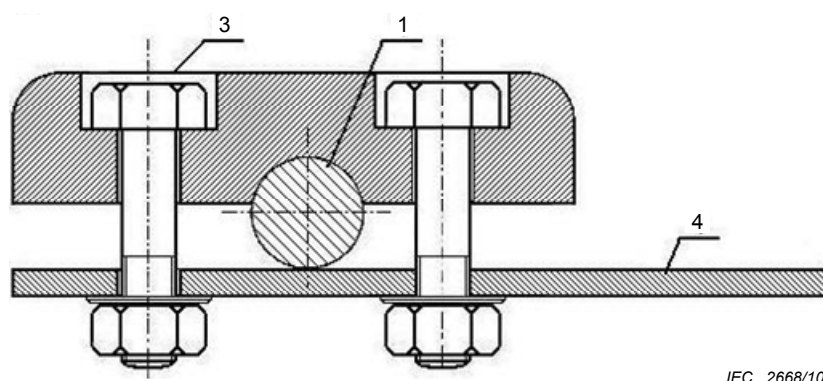


Figure E.6b – Conducteur plein et plat à une tige de renfort

Légende

- 1 tige de renfort
- 2 conducteur rond
- 3 vis
- 4 conducteur plat

Figure E.6 – Exemple de fixations utilisées comme connexions entre les tiges de renfort et les conducteurs

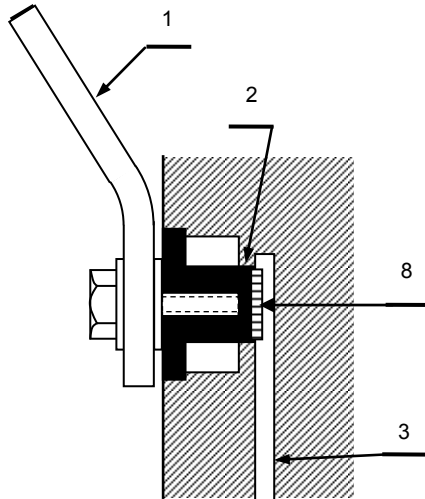


Figure E.7a

IEC 2669/10

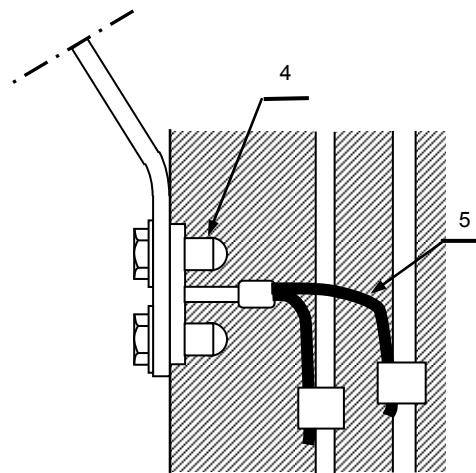


Figure E.7b

IEC 2670/10

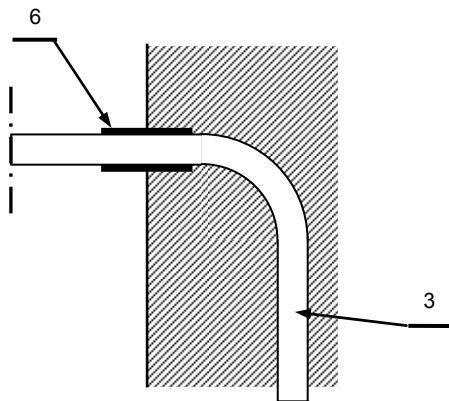


Figure E.7c

IEC 2671/10

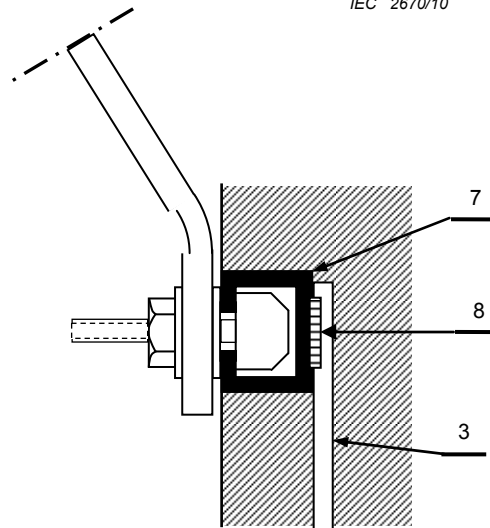


Figure E.7d

IEC 2672/10

Légende

- 1 conducteur d'équipotentialité
- 2 cosse soudée au connecteur d'équipotentialité en acier
- 3 connecteur d'équipotentialité en acier*
- 4 fonte pour un point d'équipotentialité non ferreux
- 5 conducteur d'équipotentialité à torons en cuivre
- 6 mesure de protection contre la corrosion
- 7 acier-C (barre de montage en forme de C)
- 8 soudure

* Le connecteur d'équipotentialité en acier est relié en de nombreux points par soudure ou fixation aux barres de renforcement en acier.

NOTE La disposition indiquée en Figure E.7c ne constitue pas une solution généralement acceptée en termes de bonnes pratiques d'ingénierie.

Figure E.7 – Exemples de points de connexion à l'armature d'un mur en béton armé

E.4.3.4 Matériaux

Les matériaux suivants peuvent être utilisés comme conducteurs supplémentaires installés dans le béton à des fins de protection contre la foudre: acier, acier doux, acier galvanisé, acier inoxydable, cuivre et acier revêtu de cuivre.

Le comportement d'une couche d'acier galvanisé dans le béton est très complexe, notamment dans le béton contenant des chlorures. Le zinc se corrode rapidement au contact de l'armature, et peut, dans certaines conditions, endommager le béton. Il convient par conséquent de ne pas utiliser l'acier galvanisé dans les zones côtières et où l'eau souterraine peut contenir du sel. L'utilisation de l'acier galvanisé dans le béton nécessitant l'évaluation de nombreux facteurs externes, il convient d'utiliser ce matériau uniquement après une analyse minutieuse. Compte tenu de ces éléments, il est préférable d'utiliser les autres matériaux mentionnés et non l'acier galvanisé.

Afin d'éviter toute confusion entre les différents types de tiges en acier dans le béton, il est recommandé d'utiliser des tiges rondes en acier d'au moins 8 mm de diamètre et de surface lisse comme conducteurs supplémentaires, par opposition à la surface rainurée ordinaire des tiges de renfort.

E.4.3.5 Corrosion

Lorsque des conducteurs d'équipotentialité pour armature d'acier pénètrent dans un mur en béton, il convient d'accorder une attention toute particulière à la protection contre la corrosion chimique.

La mesure de protection la plus simple contre la corrosion est la mise en œuvre d'un ruban de silicone ou d'une finition en bitume à proximité du point de sortie de la paroi, par exemple, à 50 mm ou plus à l'intérieur de la paroi et 50 mm ou plus à l'extérieur de la paroi (voir Figure E.7c). Toutefois, cette mesure n'est généralement pas considérée comme une solution technique correcte. Une meilleure solution consiste à utiliser des connecteurs brevetés tel qu'illustré dans les autres exemples de la Figure E.7.

Lorsque des conducteurs d'équipotentialité en cuivre pénètrent dans le mur en béton, il n'existe pas de risque de corrosion si un conducteur massif, un point de liaison breveté, un revêtement en PVC ou un conducteur isolé est utilisé (voir Figure E.7b). Pour les conducteurs d'équipotentialité en acier inoxydable conformes aux Tableaux 6 et 7, aucune mesure anticorrosive n'est nécessaire.

Dans le cas d'environnements très agressifs, il est recommandé que le conducteur d'équipotentialité pénétrant dans la paroi soit en acier inoxydable.

NOTE L'acier galvanisé, à l'extérieur du béton, en contact avec les armatures d'acier du béton peut, dans certains cas, entraîner des dommages pour le béton.

Lorsque des écrous en fonte ou des pièces en acier doux sont utilisés, il convient de les protéger contre la corrosion à l'extérieur de la paroi. Il convient d'utiliser des rondelles de sécurité dentées pour assurer un contact électrique dans le revêtement de protection de l'écrou (voir Figure E.7a).

Pour plus d'informations concernant la protection contre la corrosion, voir E.5.6.2.2.2.

E.4.3.6 Connexions

Des études montrent que des ligatures ne sont pas appropriées aux connexions d'écoulement du courant de foudre. Il existe un risque d'explosion et d'endommagement du béton par les ligatures. Toutefois, des études précédentes laissent supposer qu'au moins un tiers de la ligature forme un chemin électrique conducteur assurant ainsi l'interconnexion électrique de la quasi-totalité des tiges de renfort. Des mesures effectuées sur des structures en béton armé ont confirmé ce résultat.

Ainsi, pour les connexions d'écoulement du courant de foudre, la soudure et le serrage représentent les méthodes préférentielles. Les ligatures, utilisées comme connexion, ne sont appropriées que pour les conducteurs supplémentaires d'équipotentialité et de CEM.

Il convient que les connexions des circuits extérieurs aux armatures interconnectées soient réalisées par serrage ou soudure.

Il convient que les soudures entre les barres de renforcement (voir Figure E.5) dans le béton aient une longueur au moins égale à 50 mm. Il convient que les tiges de croisement soient courbées sur au moins 70 mm en parallèle avant la soudure.

NOTE Lorsqu'il est admis d'effectuer une soudure, les soudages conventionnel et exothermique sont acceptables.

Lorsque des tiges soudées doivent être encastrées dans le béton, il ne suffit pas de souder aux points de croisement avec des longueurs de cordon de soudure de quelques millimètres uniquement. Ces soudures se cassent fréquemment lors de la projection du béton.

La Figure E.5 montre un soudage approprié des conducteurs d'équipotentialité aux tiges de renfort du béton armé.

Lorsque la soudure aux tiges de renfort n'est pas admise, il convient d'utiliser des brides de serrage ou des conducteurs supplémentaires dédiés. Ces conducteurs supplémentaires peuvent être en acier, acier doux, acier galvanisé ou en cuivre. Il convient de connecter les conducteurs supplémentaires à un grand nombre de tiges de renfort par ligatures ou serrages afin de bénéficier des possibilités de protection par écran de l'armature d'acier.

E.4.3.7 Conducteurs de descente

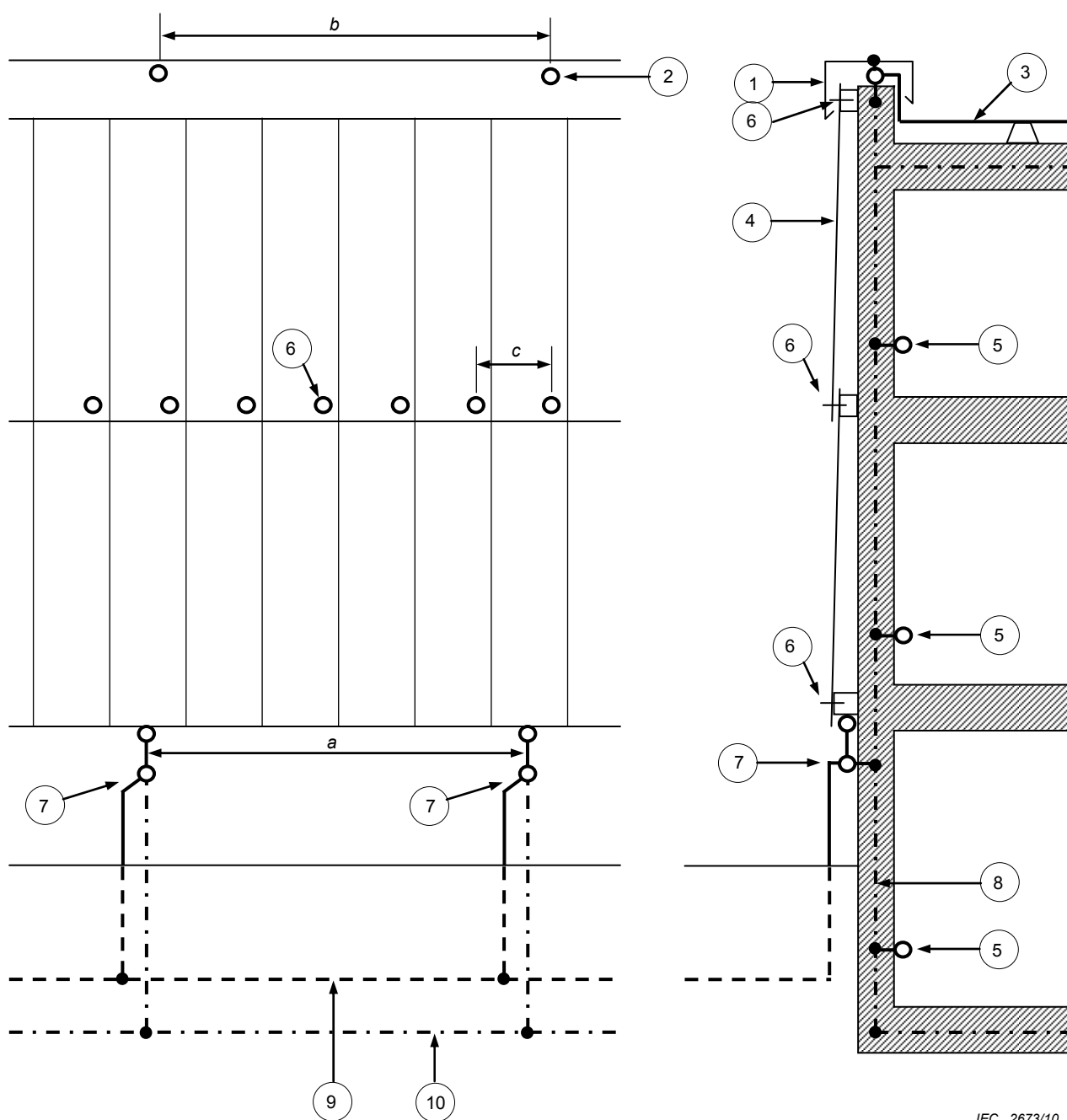
Les tiges de renfort ou les colonnes en béton et les ossatures en acier peuvent être utilisées comme conducteurs de descente naturels. Il convient de prévoir une borne de jonction au niveau de la toiture afin de faciliter la connexion du dispositif de capture, ainsi que des bornes de jonction pour faciliter la liaison avec le réseau de prises de terre sauf si la boucle à fond de fouille dans le béton armé est utilisée comme prise de terre unique.

Lors de l'utilisation d'une tige spécifique de l'armature d'acier comme conducteur de descente, il convient d'accorder une attention toute particulière au cheminement vers la terre afin de s'assurer que la tige située au même emplacement est utilisée tout au long dudit cheminement, fournissant ainsi une continuité électrique directe.

Lorsque la continuité verticale des conducteurs de descente naturels qui fournissent un chemin direct entre la toiture et le sol ne peut être garantie, il convient d'utiliser des conducteurs supplémentaires dédiés. Il convient de ligaturer ou de serrer ces conducteurs supplémentaires sur l'armature d'acier.

En cas de doute sur le chemin le plus direct pour le conducteur de descente (c'est-à-dire, dans des bâtiments existants), il convient d'ajouter un réseau de conducteurs de descente extérieurs.

Les Figures E.4 et E.8 montrent des détails de mise en œuvre des composants naturels du SPF pour des structures en béton armé. Voir également E.5.4.3.2 pour l'utilisation des tiges de renfort en béton armé comme prises de terre à fond de fouille.



IEC 2673/10

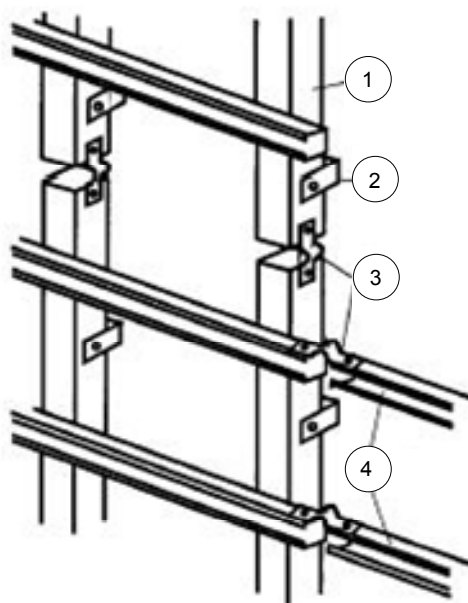
Légende

- 1 revêtement métallique du parapet de toiture
- 2 connexion entre panneaux de façade et dispositif de capture
- 3 conducteur de capture horizontal
- 4 panneau métallique de façade
- 5 barre d'équipotentialité du SPF intérieur
- 6 jonction entre panneaux de façade et cadre d'appui
- 7 borne d'essai
- 8 armature d'acier en béton
- 9 prise de terre B en boucle de type B
- 10 prise de terre à fond de fouille

Un exemple pratique peut utiliser les dimensions suivantes $a = 5 \text{ m}$ $b = 5 \text{ m}$ $c = 1 \text{ m}$.

NOTE Pour les bornes entre les dalles, voir Figure E.35.

Figure E.8a – Utilisation d'un revêtement métallique de façade comme conducteur de descente naturelle d'une structure d'acier en béton armé



IEC 2674/10

Légende

- 1 cadre vertical
- 2 fixation murale
- 3 connecteurs
- 4 cadre horizontal

Figure E.8b – Connexion des supports de façade

Figure E.8 – Utilisation d'une façade métallique comme réseau de conducteurs de descente naturels et connexion des supports de façade

Il convient que les conducteurs de descente intérieurs dans les colonnes individuelles et les parois soient interconnectés au moyen de leurs tiges de renfort en acier et qu'ils soient conformes aux conditions de continuité électrique conformément à 4.3.

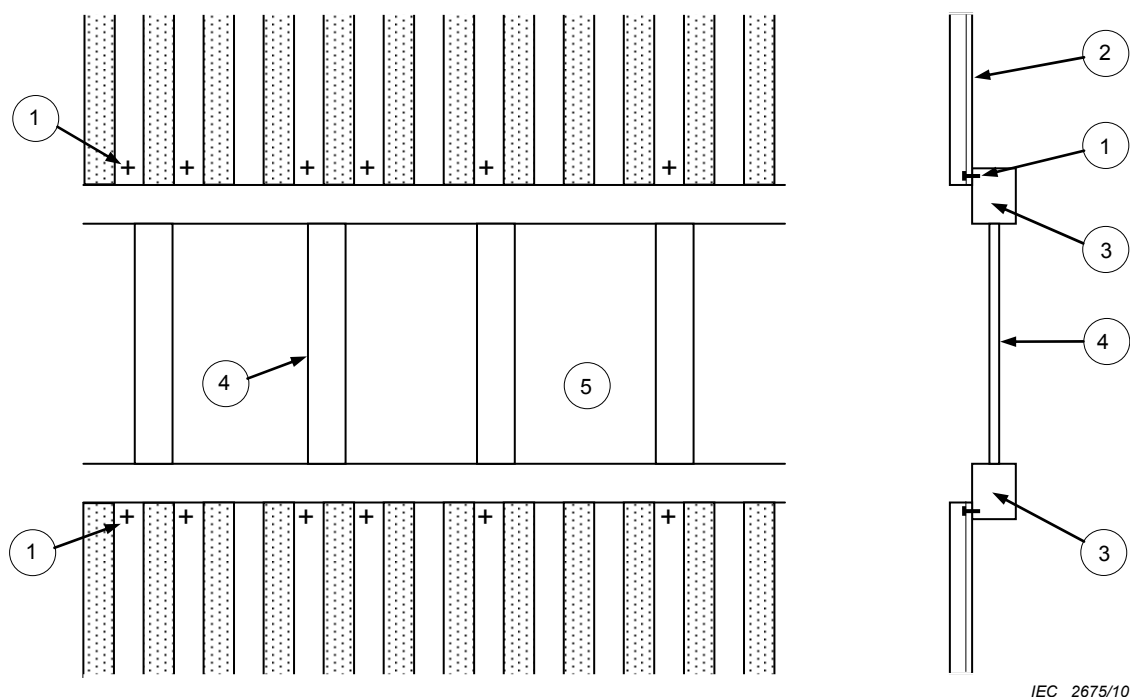
Il convient que les tiges de renfort en acier d'éléments préfabriqués en béton individuels et les tiges de renfort de colonnes et de murs en béton soient reliées à celles des planchers et toitures avant leur coulage.

De nombreuses parties conductrices continues existent dans les tiges de renfort de tous les éléments de construction coulés sur place dans le béton, par exemple, parois, colonnes, escaliers et puits d'ascenseurs. Si les planchers sont constitués de béton durci à l'air, il convient que les conducteurs de descente des colonnes et parois individuelles soient interconnectés au moyen de leurs tiges de renfort pour assurer une répartition régulière du courant de foudre. Si les planchers sont constitués d'éléments en béton préfabriqués, de telles connexions ne sont généralement pas disponibles. Cependant, il est généralement possible de préparer, à un faible coût supplémentaire, des connexions et des bornes destinées à relier les tiges de renfort des éléments en béton individuels préfabriqués à celles des colonnes et des parois avant le coulage des planchers par insertion de tiges de renfort supplémentaires.

Les éléments en béton préfabriqués utilisés comme éléments de façade suspendus ne sont pas efficaces pour la protection contre la foudre dans la mesure où aucune connexion de liaison n'est fournie. Si une protection contre la foudre très efficace doit être prévue pour les matériels situés à l'intérieur d'une structure, par exemple, des immeubles de bureaux contenant de nombreux matériels de traitement des données et réseaux informatiques, il est nécessaire de relier entre elles les tiges de renfort de ces éléments de façade et de les relier aux tiges de renfort des éléments porteurs de la structure de manière telle que le courant de foudre puisse s'écouler dans toute la surface extérieure de la structure (voir Figure E.4).

Si un bandeau continu de baies est installé dans les parois extérieures d'une structure, il est essentiel de décider s'il convient de réaliser la connexion des éléments préfabriqués en béton au-dessus et en dessous du bandeau continu de baies au moyen des colonnes existantes ou s'il convient que ces éléments soient interconnectés selon des intervalles plus rapprochés correspondant à la pente des baies.

Une plus grande intégration des parties conductrices dans les parois extérieures améliore la protection électromagnétique à l'intérieur de la structure. La Figure E.9 montre la connexion d'un bandeau continu de baies à la couverture métallique d'une façade.



IEC 2675/10

Légende

- 1 connexion entre un panneau de façade et le bandeau métallique de baies
- 2 panneau métallique de façade
- 3 bandeau métallique horizontal
- 4 bandeau métallique vertical
- 5 baie

Figure E.9 – Connexion du bandeau continu de baies à la couverture métallique d'une façade

Si des structures en acier sont utilisées comme conducteurs de descente, il convient de connecter chaque colonne en acier aux tiges de renfort en acier de la fondation en béton selon la Figure E.7, par des points de liaison conçus à cet effet conformément à la série EN 50164.

NOTE Pour plus d'informations sur l'utilisation de l'armature en acier des parois de structures à des fins de protection électromagnétique, voir la EN 62305-4.

Dans le cas de bâtiments importants peu élevés, comme des halls, la toiture est supportée non seulement par le périmètre du bâtiment mais également par des colonnes intérieures. Il convient que les colonnes conductrices soient reliées au dispositif de capture en leur sommet et au réseau d'équipotentialité au sol, créant ainsi des conducteurs de descente intérieurs; ceci permet d'éviter la formation d'étincelles dangereuses à l'intérieur du bâtiment. Des perturbations électromagnétiques plus importantes apparaissent au voisinage de ces conducteurs de descente intérieurs.

Les constructions à ossature en acier utilisent en général des poutres de toiture en acier reliées par assemblages boulonnés. Toutes les parties en acier boulonnées peuvent être considérées interconnectées électriquement à condition que les boulons soient serrés avec l'effort nécessaire pour réaliser la résistance mécanique. La mince couche de peinture est percée par la décharge initiale du courant de foudre et forme ainsi un pont conducteur.

La connexion électrique peut être améliorée en dénudant la base des têtes de boulons, des écrous et des rondelles. Une amélioration complémentaire peut être réalisée par un cordon de soudure d'une longueur d'environ 50 mm après finition de l'assemblage de la structure.

Sur les structures existantes avec de nombreuses parties conductrices dans ou sur les parois extérieures, il convient d'établir la continuité des parties conductrices destinées à être utilisées comme conducteurs de descente. Cette technique est également recommandée lorsque des besoins importants en termes d'aspects culturels de la conception architecturale doivent être maintenus, outre les besoins de protection contre l'IEMF.

Il convient également de prévoir des barres d'équipotentialité interconnectées. Il convient que chaque barre d'équipotentialité soit connectée aux parties conductrices des murs extérieurs et du plancher. Ceci peut déjà être réalisé par les barres de renforcement horizontales au niveau du sol et chaque niveau de plancher suivant.

Il convient, si possible, de prévoir un point de connexion à l'armature d'acier du plancher ou de la paroi. Il convient que la connexion soit effectuée sur au moins trois tiges de renforcement.

E.4.3.8 Equipotentialité

Lorsqu'un grand nombre de connexions d'équipotentialité sur l'armature est prescrit sur divers niveaux et lorsqu'un soin particulier est accordé à l'obtention des passages de courant à faible inductance, par l'utilisation des tiges de renfort des murs en béton pour réaliser l'équipotentialité et pour la protection de l'espace intérieur de la structure, il convient d'installer les conducteurs de ceinturage dans ou à l'extérieur du béton sur des niveaux distincts. Il convient que les conducteurs de ceinturage soient interconnectés au moyen de tiges verticales à des intervalles au plus égaux à 10 m.

Il convient de préférer cette disposition en raison de sa plus grande fiabilité, particulièrement lorsque l'amplitude du courant de perturbation n'est pas connue.

Un réseau de conducteurs de connexion maillés est également recommandé. Il convient de concevoir les connexions de sorte qu'elles écoulent des courants élevés en cas de défaut de l'alimentation.

Dans les structures importantes, la barre d'équipotentialité sert de conducteur de ceinturage. Dans ces cas, il convient que les points de connexion aux barres de renforcement en acier soient réalisés tous les 10 m. En dehors des mesures susceptibles d'être prescrites pour les fondations en 6.2.2 a), aucune autre mesure spéciale n'est nécessaire pour la connexion de l'armature de la structure au SPF.

E.4.3.9 Fondation utilisée comme prise de terre

Pour des structures importantes et des installations industrielles, la fondation est généralement armée. Les tiges de renfort de la fondation, les dalles de fondation et les murs extérieurs sous la surface du sol de ce type de structures constituent une excellente prise de terre à fond de fouille à condition de satisfaire aux exigences de 5.4.

Les tiges de renfort de la fondation et les murs enterrés peuvent être utilisés comme prise de terre à fond de fouille.

Cette méthode permet une bonne prise de terre au moindre coût. De plus, l'enveloppe métallique constituée de l'armature d'acier de la structure offre en général une bonne référence d'équipotentialité pour l'alimentation électrique et les installations de télécommunication et électroniques de la structure.

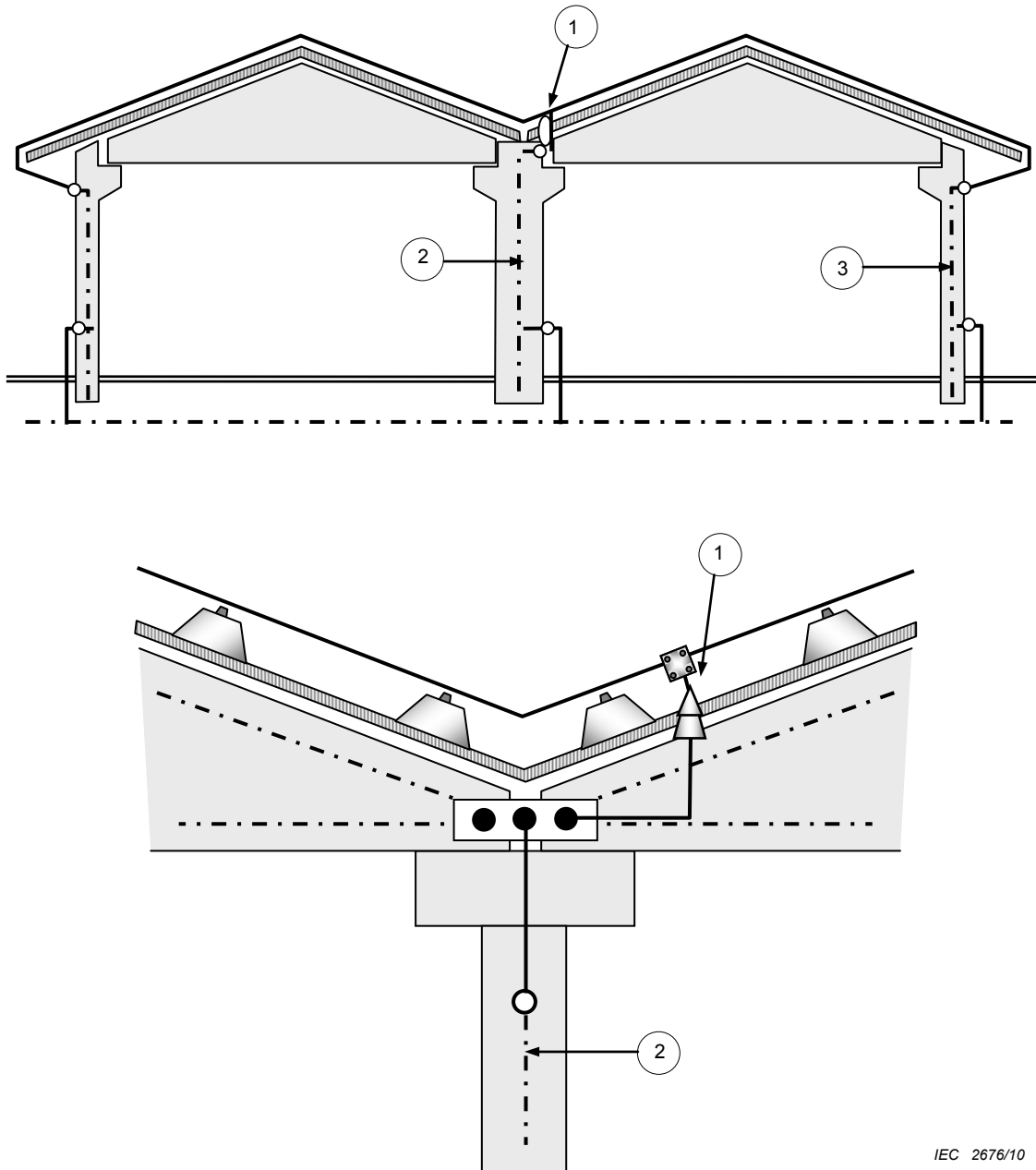
Outre l'interconnexion des tiges de renfort par des ligatures, l'installation d'un réseau maillé métallique supplémentaire est recommandée pour assurer des liaisons fiables. Il convient que ce réseau supplémentaire soit également ligaturé à l'armature d'acier. Il convient que les bornes des conducteurs pour les connexions des conducteurs de descente extérieurs ou des éléments de la structure utilisés comme conducteurs de descente et pour la connexion des prises de terre installées à l'extérieur soient sorties du béton en des points appropriés.

L'armature d'une fondation est généralement électriquement conductrice sauf dans les cas où des intervalles sont aménagés entre les différentes parties de la structure pour permettre différents taux de prise.

Il convient que les intervalles entre les parties de structure conductrices soient pontés par des conducteurs d'équipotentialité conformes au Tableau 6 en utilisant des fixations et des bornes conformément à 5.5.

Il convient que les tiges de renfort des colonnes et des murs en béton disposées sur une fondation soient reliées aux tiges de renfort de la fondation et aux parties conductrices de la toiture.

La Figure E.10 montre la conception du SPF d'une structure en béton armé avec des colonnes et des murs en béton, et une toiture comportant des parties conductrices.



IEC 2676/10

Légende

- 1 conducteur SPF traversant un système d'étanchéité
- 2 armature d'acier d'une colonne en béton
- 3 armature d'acier de murs en béton

NOTE L'armature d'acier d'une colonne intérieure devient un conducteur de descente intérieur naturel lorsque ladite armature de la colonne est reliée au dispositif de capture et à la prise de terre du SPF. Il convient de prendre en compte l'environnement électromagnétique à proximité de la colonne lorsque des matériels électroniques sensibles sont installés à proximité de la colonne.

Figure E.10 – Conducteurs de descente intérieurs dans des structures industrielles

Lorsque le soudage de l'armature n'est pas admis, il convient d'installer des conducteurs supplémentaires dans les colonnes, ou il convient d'effectuer les connexions au moyen des bornes d'essai. Il convient que ces conducteurs supplémentaires soient ligaturés ou fixés fermement à l'armature d'acier.

Après achèvement de la construction et connexion de tous les services au bâtiment via une barre d'équipotentialité, il est souvent impossible (dans la pratique) de mesurer la résistance de la prise de terre dans le cadre du programme de maintenance.

Si, dans certaines conditions, il n'est pas possible de mesurer la résistance de la prise de terre à fond de fouille, l'installation de une ou plusieurs prises de terre de référence proches de la structure donne la possibilité de vérifier les modifications d'environnement du réseau de prises de terre sur plusieurs années en réalisant un circuit de mesure entre la prise de terre et le réseau de prises de terre à fond de fouille. Toutefois, une bonne équipotentialité constitue le principal avantage du réseau de prises de terre à fond de fouille et la résistance à la terre tend à être moins importante.

E.4.3.10 Procédures d'installation

Il convient que tous les conducteurs de protection contre la foudre et leurs fixations soient mis en place par l'installateur du SPF.

Il convient qu'un accord avec le maître d'œuvre de travaux de génie civil soit obtenu en temps utile pour s'assurer que le calendrier de la mise en œuvre n'est pas prolongé du fait du retard de l'installation du SPF avant le coulage du béton.

Il convient que, lors de la mise en œuvre, des mesures soient effectuées régulièrement et que l'installateur du SPF supervise la mise en œuvre (voir 4.3).

E.4.3.11 Panneaux préfabriqués en béton armé

Si de tels panneaux sont utilisés pour la protection contre la foudre, par exemple, comme conducteurs de descente pour la protection ou comme conducteurs d'équipotentialité, il convient que les points de connexion conformes à la Figure E.7 soient fixés sur lesdits panneaux pour permettre l'interconnexion simple ultérieure de l'armature préfabriquée avec l'armature de la structure.

Il convient de définir l'emplacement et la forme des points de connexion lors de la conception des panneaux préfabriqués en béton armé.

Il convient que les points de connexion soient situés de sorte que dans le cas d'un panneau préfabriqué en béton armé, une tige de renfort continue relie un joint d'équipotentialité à l'autre.

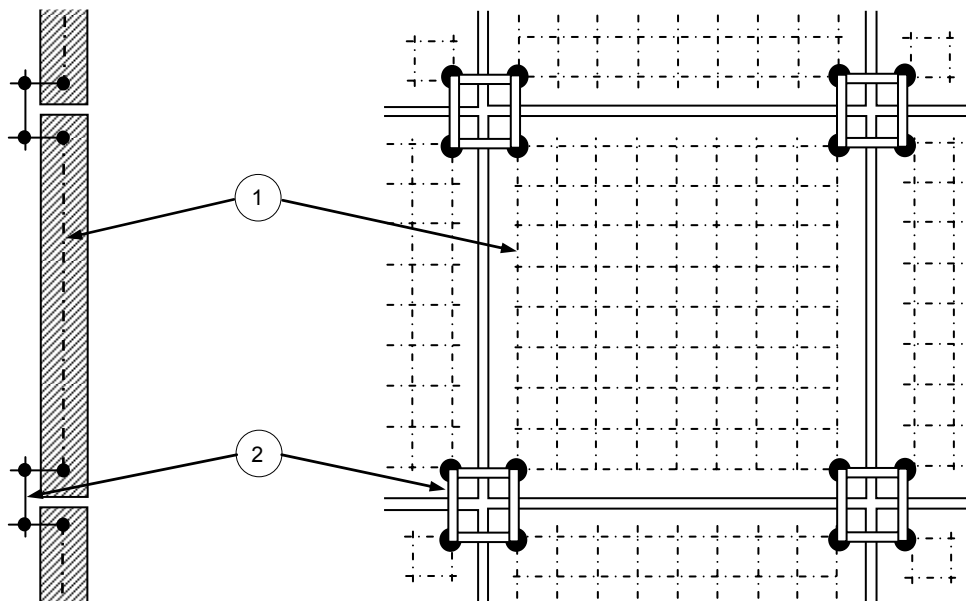
Lorsque la disposition de tiges de renfort continues dans un panneau préfabriqué en béton armé n'est pas possible avec des tiges de renfort normales, il convient d'installer un conducteur supplémentaire et de le ligaturer à l'armature existante.

En général, un point de connexion et un conducteur d'équipotentialité sont nécessaires à chaque coin d'un panneau préfabriqué en béton armé de type plaque, tel qu'illustré à la Figure E.11.

E.4.3.12 Joints d'expansion

Lorsque la structure comprend plusieurs sections avec des joints thermiques d'expansion, pour permettre le montage des sections de la structure, et lorsqu'un matériel électronique important doit être installé dans le bâtiment, il convient de prévoir des conducteurs d'équipotentialité entre l'armature des diverses sections structurales à travers les joints thermiques d'expansion à des intervalles ne dépassant pas la moitié de la distance entre les conducteurs de descente spécifiée dans le Tableau 4.

Afin d'assurer une équipotentialité de faible impédance et un écran efficace pour l'espace intérieur de la structure, il convient que les joints thermiques d'expansion entre les sections d'une structure soient pontés à intervalles courts (entre 1 m et la moitié de la distance entre les conducteurs de descente) par des conducteurs d'équipotentialité souples ou glissants en fonction du facteur d'écran requis, tel qu'indiqué à la Figure E.11.

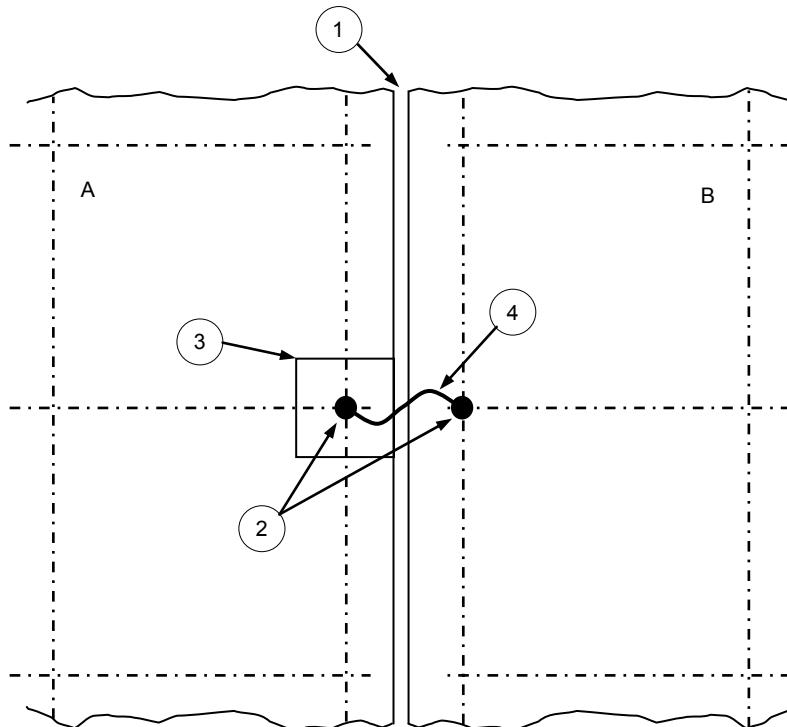


IEC 2677/10

Légende

- 1 béton préfabriqué armé
- 2 conducteurs d'équipotentialité

Figure E.11a – Installation de conducteurs d'équipotentialité sur des panneaux préfabriqués en béton armé de type plaques au moyen de connexions à boulons ou soudées



IEC 2678/10

Légende

- 1 fente d'expansion
- 2 soudure
- 3 retrait
- 4 conducteur souple d'équipotentialité
- A béton armé, partie 1
- B béton armé, partie 2

Figure E.11b – Mise en œuvre de liaisons souples entre deux panneaux en béton armé pontant une fente d'expansion thermique sur une structure

Figure E.11 – Installation de conducteurs d'équipotentialité dans les structures en béton armé et de liaisons souples entre deux panneaux en béton armé



E.5 Installation extérieure de protection contre la foudre

E.5.1 Généralités

L'emplacement des conducteurs d'une installation extérieure de protection contre la foudre est essentiel lors de la conception de ladite installation 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 dispositif de capture implique généralement la conception du réseau des conducteurs de descente, le réseau de prises de terre et la conception du SPF intérieur.

Si des bâtiments contigus ont un SPF, il convient que ces SPF soient connectés, lorsque cela est admis, au SPF du bâtiment considéré.

E.5.1.1 SPF non isolé

Dans la plupart des cas, le SPF extérieur peut être fixé sur la structure à protéger.

Lorsque les effets thermiques au point d'impact ou sur les conducteurs écouant le courant de foudre risquent d'entraîner des dommages à la structure à protéger 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 Des cas typiques sont

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

E.5.1.2 SPF isolé

Il convient d'utiliser un SPF extérieur isolé lorsque l'écoulement du courant de foudre dans les parties conductrices internes à équipotentialité peut entraîner des dommages pour la structure ou son contenu.

NOTE 1 L'utilisation d'un SPF isolé peut être appropriée lorsqu'il est prévu que des modifications de structure peuvent nécessiter des modifications du SPF.

Un SPF connecté aux éléments conducteurs de la structure et au réseau d'équipotentialité au seul niveau du sol, est défini comme isolé selon 3.3.

Un SPF isolé est réalisé par l'installation de tiges ou de mâts de capture à proximité de la structure à protéger ou par des fils tendus entre les mâts conformément à la distance de séparation spécifiée en 6.3.

Un SPF isolé est également installé sur des structures en matériau isolant tel que brique ou bois avec la distance de séparation, telle que définie en 6.3, maintenue et sans connexion aux parties conductrices de la structure et des matériels intérieurs à l'exception des connexions au réseau de prises de terre au niveau du sol.

Il convient de ne pas installer les équipements conducteurs dans la structure et les conducteurs électriques à des distances par rapport aux conducteurs du dispositif de capture inférieures à la distance de séparation définie en 6.3. Il convient que toutes les installations ultérieures soient conformes aux exigences d'un SPF isolé. Il convient que ces exigences soient signifiées au propriétaire de la structure par le maître d'œuvre responsable de la conception et de la mise en œuvre du SPF.

Il convient que le propriétaire informe les futurs maîtres d'œuvre travaillant sur ou dans le bâtiment de l'existence de ces exigences. Il convient que le maître d'œuvre responsable de ces travaux informe le propriétaire de la structure s'il n'est pas en mesure de satisfaire à ces exigences.

Il convient que toutes les parties de matériels installés dans une structure protégée par un SPF isolé soient situées dans l'espace protégé et répondent aux conditions de distance de séparation. Il convient que les conducteurs du SPF soient installés sur des fixations isolantes, si les fixations attachées directement aux parois de la structure sont trop proches des parties conductrices, de sorte que la distance entre le SPF et les parties conductrices intérieures dépasse la distance de séparation définie en 6.3.

NOTE 2 Il convient que les fixations isolantes soient égales ou plus longues que la distance de séparation, compte tenu également des conditions d'environnement.

Il convient que les fixations de toiture conductrices affleurantes non reliées à l'équipotentialité et qui présentent une distance avec le dispositif de capture ne dépassant pas la distance de séparation, mais une distance de séparation avec l'équipotentialité qui dépasse cette dernière, soient reliées au dispositif de capture du SPF isolé. Pour cette raison, il convient de ne pas considérer ce type de structures comme des structures isolantes, mais comme des structures avec fixations de toiture conductrices affleurantes non connectées à l'équipotentialité.

Il convient que la conception d'un SPF et les règles de sécurité de travail au voisinage d'une fixation de toiture tiennent compte du fait que ces fixations subiront la même augmentation de tension que le dispositif de capture lors d'un coup de foudre.

Il convient d'installer un SPF isolé sur des structures présentant de nombreuses parties conductrices connectées lorsqu'il est souhaité d'empêcher tout écoulement du courant de foudre dans les parois et les matériels intérieurs.

Sur les structures constituées de parties conductrices à connexion continue telles qu'ossatures métalliques ou en béton armé, il convient que le SPF isolé maintienne la distance de séparation vis-à-vis de ces parties conductrices de la structure. Pour obtenir une séparation appropriée, il peut se révéler nécessaire de fixer les conducteurs du SPF sur la structure par des fixations isolantes.

Il convient de noter que les colonnes et plafonds en béton armé sont souvent utilisés dans des structures en briques.

E.5.1.3 Etincelles dangereuses

Des étincelles dangereuses entre le SPF et les installations métalliques, de puissance et de communication peuvent être évitées

- dans un SPF isolé, par isolation ou séparation selon 6.3,
- dans un SPF non isolé, par équipotentialité selon 6.2, ou par isolation ou séparation selon 6.3.

E.5.2 Dispositifs de capture

E.5.2.1 Généralités

La présente norme ne donne pas de critères pour le choix du dispositif de capture car elle considère les tiges, les fils tendus et les conducteurs maillés comme équivalents.

Il convient que la disposition d'un dispositif de capture soit conforme aux exigences du Tableau 2.

E.5.2.2 Emplacement

Pour la conception du dispositif de capture, il convient d'utiliser les méthodes suivantes, indépendamment ou combinées, à condition que les zones de protection permises par les diverses parties du dispositif de capture se chevauchent et assurent une protection totale de la structure selon 5.2:

- méthode de l'angle de protection;
- méthode de la sphère fictive;
- méthode des mailles.

Ces trois méthodes peuvent être utilisées pour la conception d'un SPF. Le choix de la méthode dépend d'une évaluation pratique de son adéquation et de la vulnérabilité de la structure à protéger.

La méthode d'emplacement peut être choisie par le concepteur du SPF. 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 approprié au niveau de protection du SPF choisi;
- la méthode de la sphère fictive est appropriée à des structures de formes complexes;
- la méthode des mailles 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 SPF utilisées pour les diverses parties de la structure soient clairement expliquées dans le document de conception.

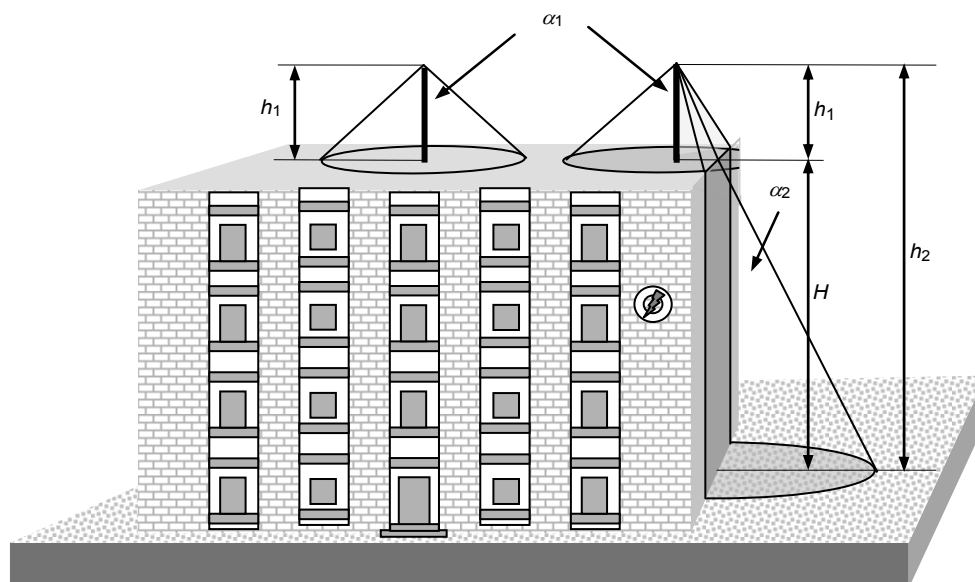
E.5.2.2.1 Méthode de l'angle de protection

Il convient 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 2, h étant la hauteur du dispositif de capture au-dessus de la surface à protéger.

Un point définit un cône. Les Figures A.1 et A.2 montrent la méthode de génération de l'espace protégé par les différents conducteurs de dispositif de capture dans le SPF.

Conformément au Tableau 2, l'angle de protection α varie selon les différentes hauteurs du dispositif de capture au-dessus de la surface à protéger (voir Figures A.3 et E.12).



IEC 2679/10

Légende

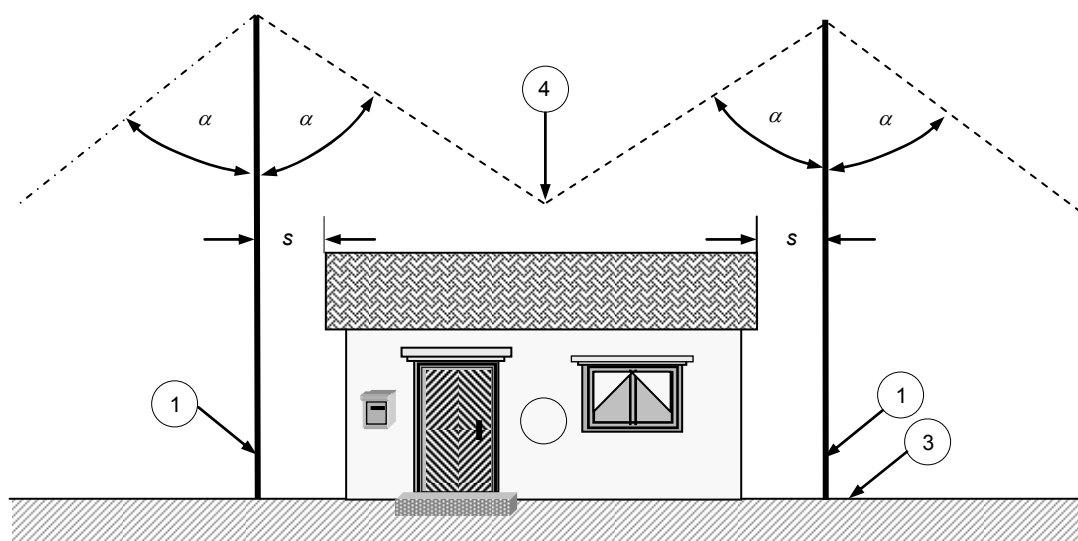
- H hauteur du bâtiment au-dessus du plan de référence du sol
- h_1 hauteur physique d'une tige de capture
- h_2 $h_1 + H$, étant la hauteur de la tige de capture au-dessus du sol
- α_1 l'angle de protection correspondant à la hauteur du dispositif de capture $h = h_1$, étant la hauteur au-dessus de la surface du toit à mesurer (plan de référence)
- α_2 l'angle de protection correspond à la hauteur h_2

Figure E.12 – Conception d'un dispositif de capture selon la méthode de l'angle de protection pour diverses hauteurs conformément au Tableau 2

La méthode de l'angle de protection possède des limites géométriques et ne peut pas être appliquée si H est plus grande que le rayon de la sphère fictive r défini dans le Tableau 2.

Si des structures sur le toit doivent être protégées par des épis de faîtage et si le volume de protection de ces derniers dépasse le bord du bâtiment, il convient que les épis de faîtage soient placés entre la structure et le bord. Si cela n'est pas possible, il convient d'appliquer la méthode de la sphère fictive.

La conception de dispositifs de capture utilisant la méthode de l'angle de protection est également présentée dans les Figures E.13 et E.14 pour un SPF isolé et dans les Figures E.15 et E.16 pour un SPF non isolé.

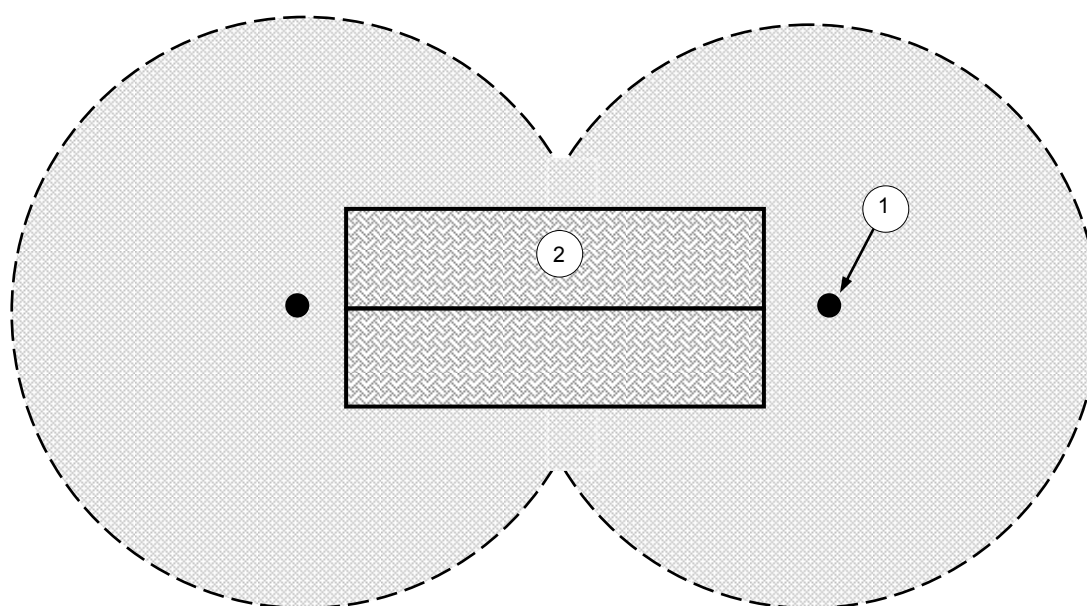


IEC 2680/10

Légende

- 1 mât de capture
- 2 structure protégée
- 3 sol servant de plan de référence
- 4 intersection entre les cônes de protection
- s distance de séparation selon 6.3
- α angle de protection conforme au Tableau 2

Figure E.13a – Projection sur un plan vertical



IEC 2681/10

NOTE Les deux cercles indiquent la zone protégée sur le sol servant de plan de référence.

Figure E.13b – Projection sur le plan de référence horizontal

**Figure E.13 – SPF isolé extérieur utilisant deux mâts de capture isolés,
conçu selon la méthode de l'angle de protection**

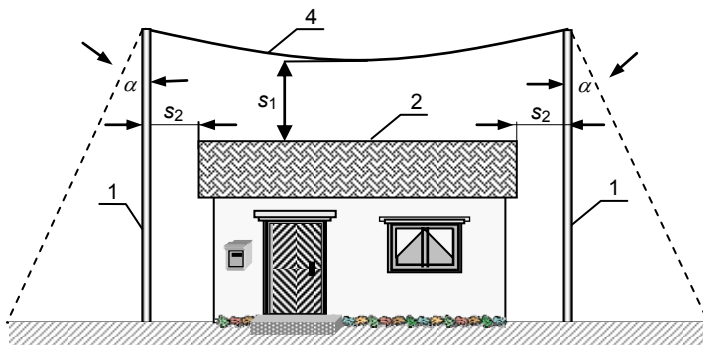


Figure E.14a – Projection sur un plan vertical parallèle à celui contenant deux mâts

IEC 2682/10

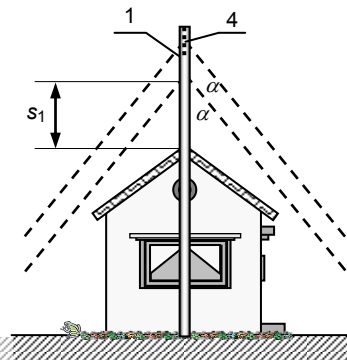


Figure E.14b – Projection sur un plan vertical perpendiculaire au plan contenant les deux mâts

IEC 2683/10

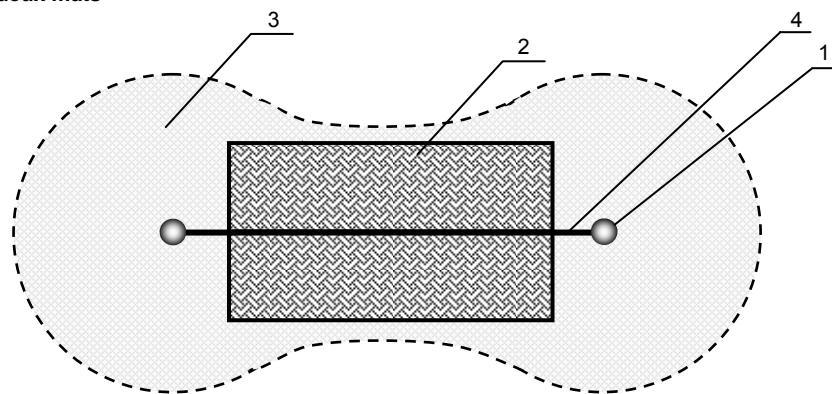


Figure E.14c – Projection sur le plan de référence horizontal

IEC 2684/10

Légende

- 1 mât de capture
- 2 structure protégée
- 3 zone protégée sur le plan de référence
- 4 fil horizontal de capture
- s_1, s_2 distances de séparation selon 6.3
- α angle de protection conforme au Tableau 2

NOTE Le dispositif de capture est conçu selon la méthode de l'angle de protection. Il convient que la structure entière soit incluse dans le volume protégé.

Figure E.14 – SPF isolé extérieur avec deux mâts de capture isolés, interconnectés par un conducteur de capture horizontal

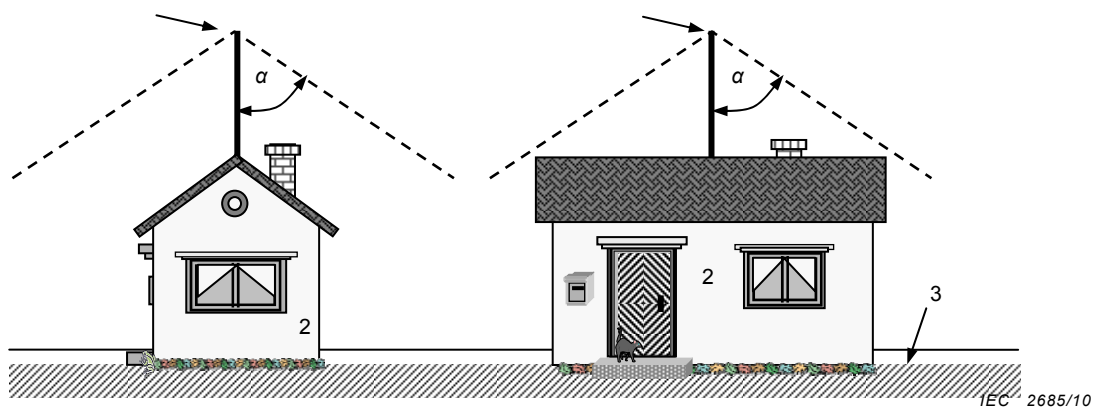


Figure E.15a – Exemple avec une tige de capture

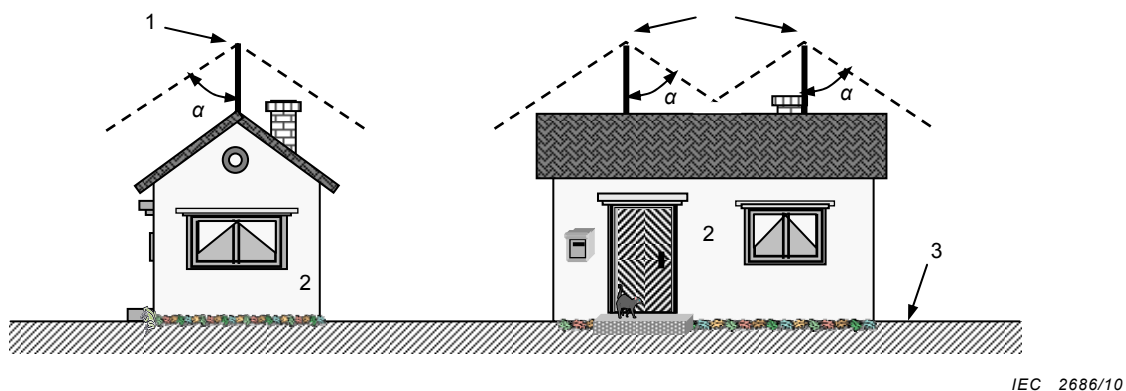


Figure E.15b – Exemple avec deux tiges de capture

Légende

- 1 tige de capture
- 2 structure protégée
- 3 plan de référence supposé
- α angle de protection conforme au Tableau 2

NOTE Il convient que l'ensemble de la structure soit à l'intérieur des volumes protégés des tiges de capture.

Figure E.15 – Exemple de conception d'un dispositif de capture d'un SPF non isolé par tiges de capture

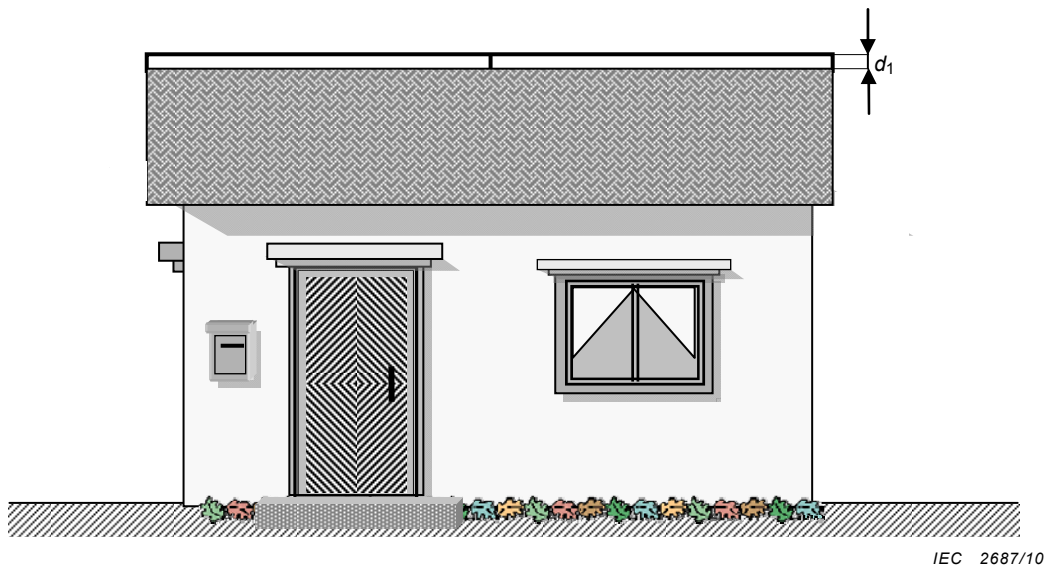


Figure E.16a – Projection sur un plan vertical contenant le conducteur

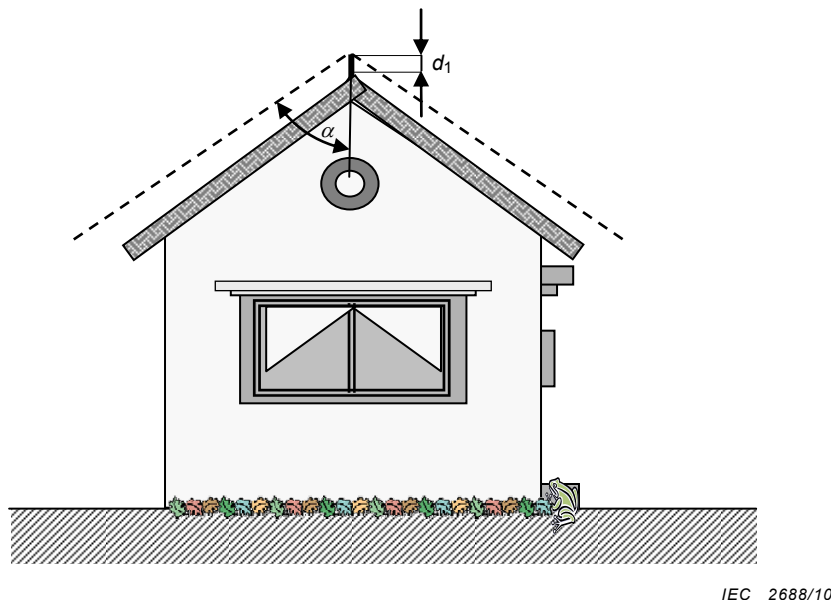


Figure E.16b – Projection sur le plan vertical perpendiculaire au plan contenant le conducteur

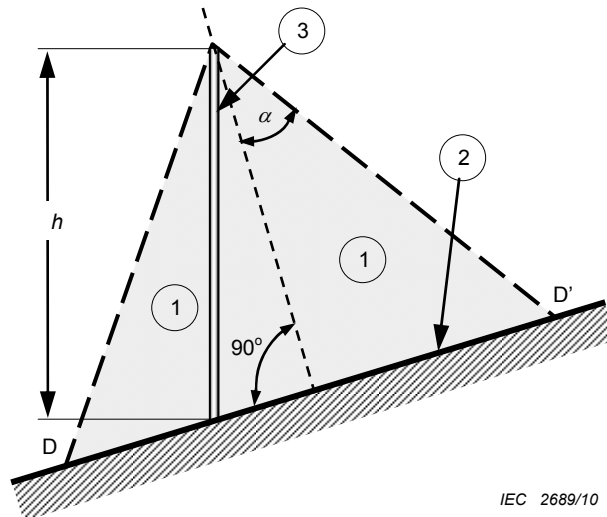
Légende

- α angle de protection conforme au Tableau 2
 d_1 distance du fil horizontal depuis le toit

NOTE Il convient que l'ensemble de la structure se situe à l'intérieur du volume protégé.

Figure E.16 – Exemple de conception d'un dispositif de capture d'un SPF non isolé constitué par un fil horizontal selon la méthode de l'angle de protection

Si la surface de pose du dispositif de capture est inclinée, l'axe du cône, formant la zone protégée, n'est pas nécessairement la tige de capture, mais la perpendiculaire à la surface sur laquelle est placée cette tige; le haut du cône correspondant au haut de la tige de capture (voir Figure E.17).



Légende

- 1 volume protégé
- 2 plan de référence
- 3 tige de capture
- h hauteurs appropriées du dispositif de capture selon le Tableau 2
- α angle de protection
- D, D' limite de la zone protégée

Figure E.17 – Volume protégé d'une tige de capture sur une surface en pente en utilisant la méthode de l'angle de protection

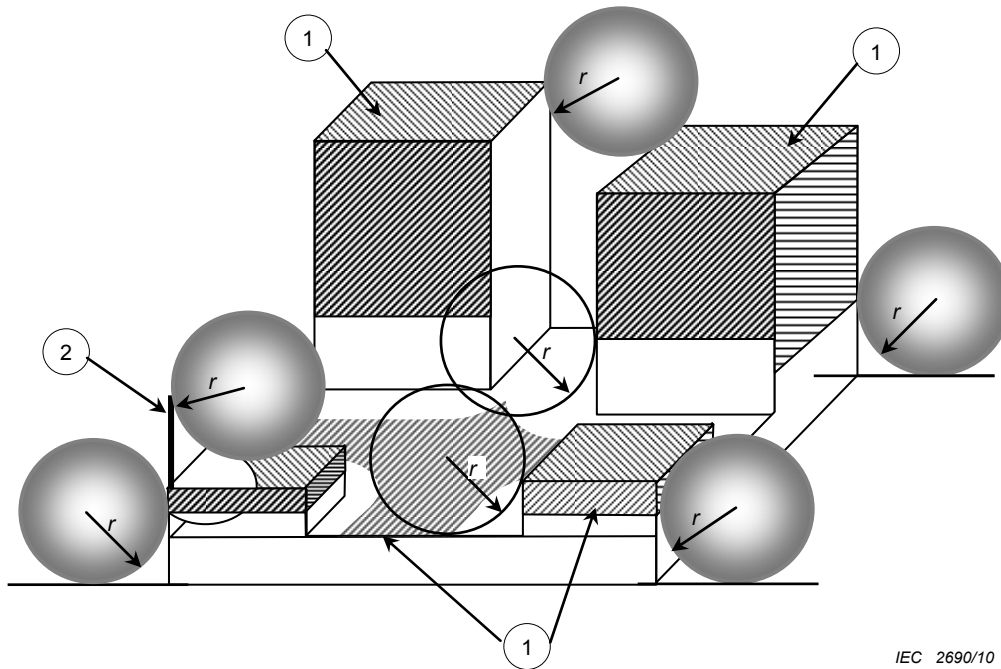
E.5.2.2.2 Méthode de la sphère fictive

Il convient d'utiliser cette méthode pour identifier l'espace protégé de parties et de zones d'une structure lorsque le Tableau 2 exclut l'utilisation de la méthode de l'angle de protection.

En appliquant cette méthode, le positionnement d'un 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 au sommet de la structure dans toutes les directions possibles. Par conséquent, il convient que la sphère ne touche que le sol et/ou le dispositif de capture.

Le rayon r de la sphère fictive dépend de la classe de SPF (voir Tableau 2). Le rayon de la sphère fictive est lié à la valeur crête du courant présent dans le coup de foudre frappant la structure: $r = 10 / 0,65$ où I est défini comme kA.

La Figure E.18 montre l'application de la méthode de la sphère fictive à diverses 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. Un point d'impact peut se produire lorsque la sphère fictive touche la structure et, en ces points, une protection par un dispositif de capture est requise.



IEC 2690/10

Légende

- 1 les zones ombrées sont soumises aux impacts de foudre et nécessitent une protection conformément au Tableau 2
- 2 mât sur la structure
- r rayon de la sphère fictive, selon le Tableau 2

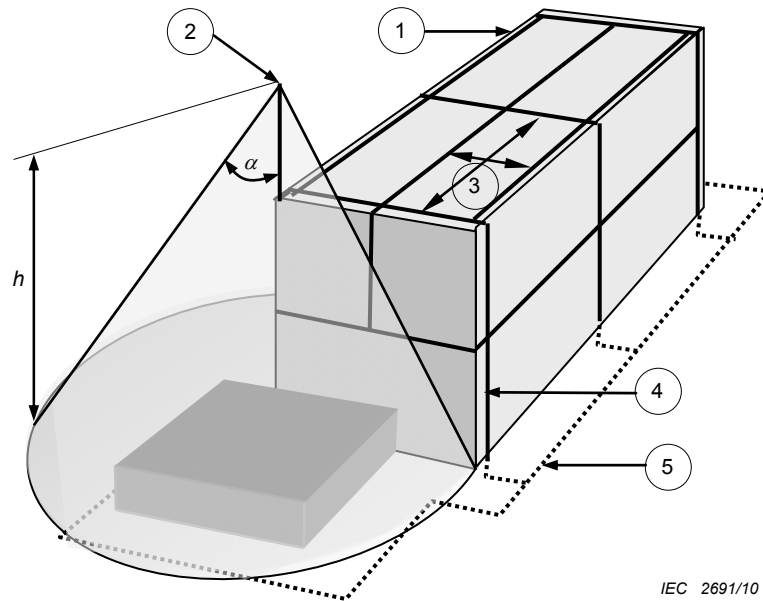
NOTE La protection contre les coups de foudre latéraux est nécessaire conformément à 5.2.3 et à l'Artifice A.2.

Figure E.18 – Conception d'un réseau de dispositifs de capture de SPF sur une structure de forme complexe

Lorsque la méthode de la sphère fictive est utilisée sur les schémas de la structure, il convient que cette dernière soit considérée dans toutes les directions afin qu'aucune partie n'empiète dans une zone non protégée – un point pouvant être oublié si seuls les schémas de face, de côtés et les vues en plan sont analysés.

L'espace protégé généré par le conducteur d'un SPF est le volume non pénétré par la sphère fictive lorsqu'elle est en contact avec le conducteur et appliquée à la structure.

La Figure E.19 montre la protection apportée par le dispositif de capture d'un SPF selon la méthode des mailles, la méthode de la sphère fictive et de l'angle de protection avec disposition générale des éléments de capture.



Légende

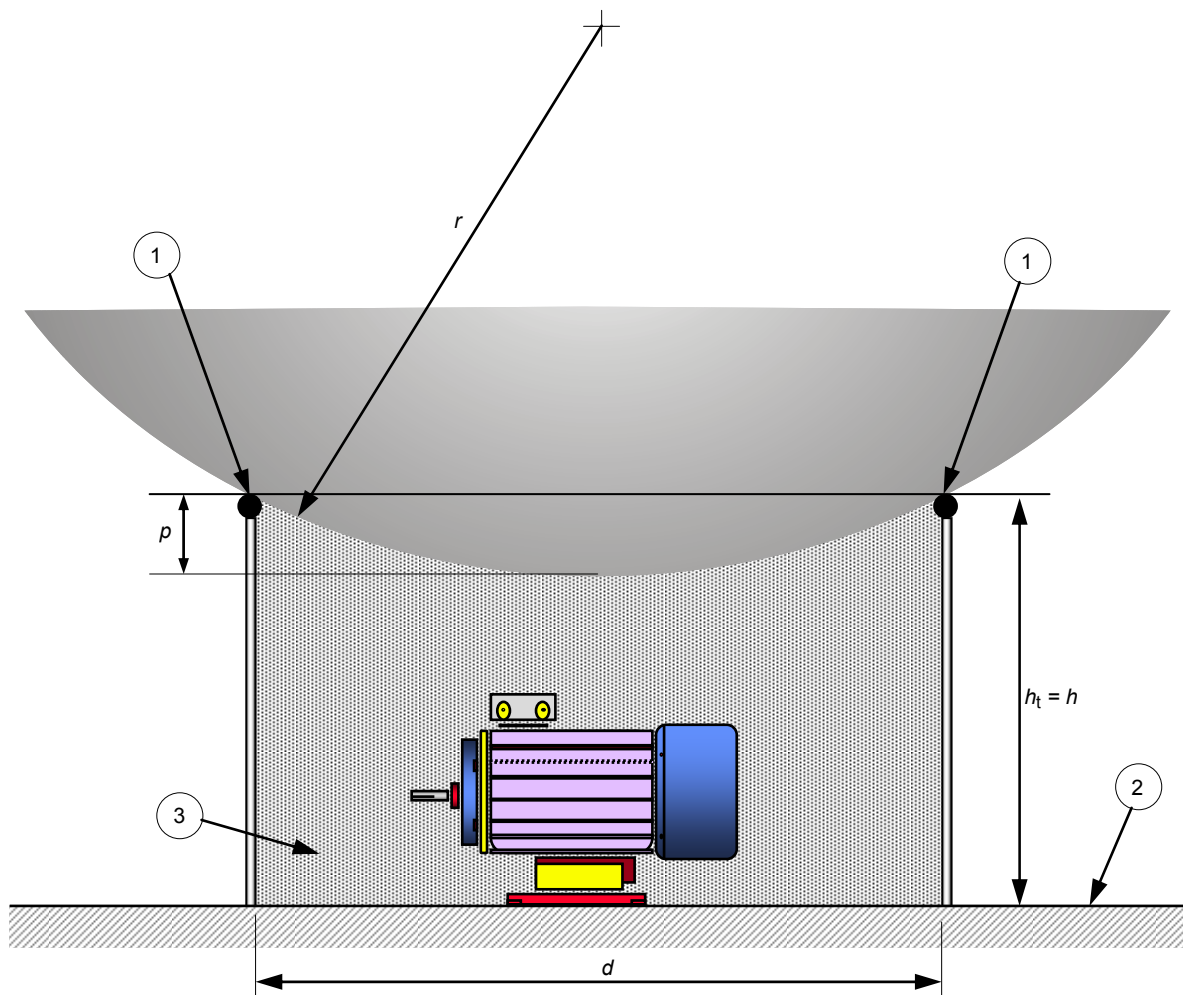
- 1 conducteur de capture
- 2 tige de capture
- 3 taille de maille
- 4 conducteur de descente
- 5 prise de terre avec conducteur de ceinturage
- h hauteur du dispositif de capture au-dessus du sol
- α angle de protection

Figure E.19 – Conception d'un dispositif de capture d'un SPF selon la méthode de l'angle de protection, la méthode des mailles et disposition générale des éléments de capture

Dans le cas de deux conducteurs parallèles horizontaux de capture situés au-dessus du plan de référence horizontal de la Figure E.20, la distance de pénétration, p , de la sphère fictive sous le niveau des conducteurs dans l'espace situé entre les conducteurs peut être calculée:

$$p = r - [r^2 - (d / 2)^2]^{1/2} \quad (\text{E.2})$$

Il convient que la distance de pénétration p soit inférieure à h_t moins la hauteur des objets à protéger (le moteur illustré à la Figure E.20).



IEC 2692/10

Légende

- 1 fils horizontaux
- 2 plan de référence
- 3 espace protégé par deux fils de capture horizontaux parallèles ou deux tiges de capture
- h_t hauteur physique des tiges de capture au-dessus du plan de référence
- p distance de pénétration de la sphère fictive
- h hauteur du dispositif de capture selon le Tableau 2
- r rayon de la sphère fictive
- d distance séparant deux fils horizontaux parallèles de capture ou deux tiges de capture

NOTE Il convient que la distance de pénétration p de la sphère fictive soit inférieure à h_t moins la hauteur la plus élevée des objets à protéger, afin de protéger ceux-ci dans l'espace situé entre les extrémités.

Figure E.20 – Espace protégé par deux fils parallèles et horizontaux de capture ou deux tiges de capture ($r > h_t$)

L'exemple illustré à la Figure E.20 est également valable pour trois ou quatre tiges de capture; par exemple, quatre tiges verticales placées aux coins d'un carré avec application de la même hauteur h . Dans ce cas, d illustré à la Figure E.20 correspond aux diagonales du carré constitué par les quatre tiges.

Les points où la foudre frappe peuvent être déterminés par la méthode de la sphère fictive. Cette méthode peut également identifier la probabilité d'occurrence d'impact sur chaque point du bâtiment.

Méthode des mailles

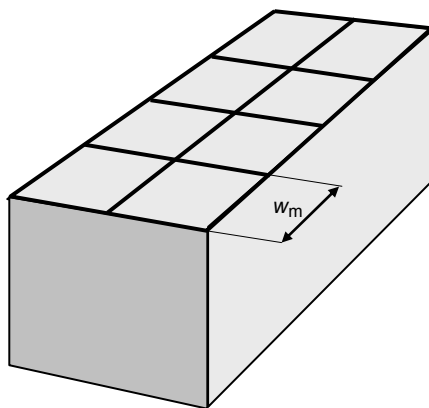
Pour la protection de surfaces planes, un maillage est considéré comme protégeant l'ensemble de la surface si les conditions suivantes sont satisfaites.

- a) Comme indiqué à l'Annexe A, les conducteurs de capture sont placés sur
 - des extrémités de toitures,
 - des débords de toitures,
 - des bords de toitures, si la pente dépasse 1/10,
 - les surfaces latérales de la structure pour des hauteurs supérieures à 60 m et supérieures à 80 % de la hauteur de la structure;
- b) les dimensions des mailles du réseau de capture ne sont pas supérieures aux valeurs indiquées dans le Tableau 2;
- c) le réseau de dispositifs 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 les dispositifs de capture;

NOTE 2 Un plus grand nombre de conducteurs de descente entraîne une réduction de la distance de séparation et du champ électromagnétique dans le bâtiment (voir 5.3).

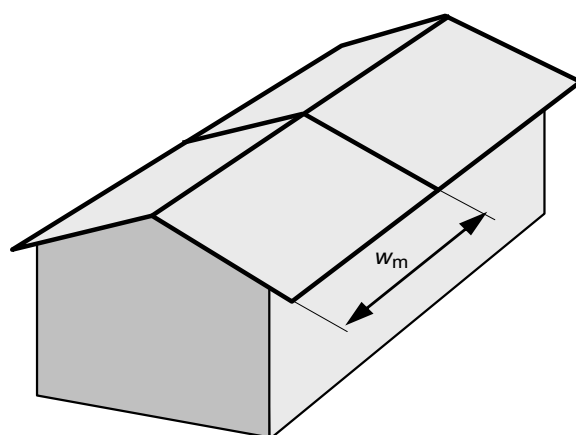
- d) les conducteurs de capture suivent des chemins aussi directs et courts que possible.

Des exemples de SPF non isolé utilisant la méthode des mailles de capture sont présentés à la Figure E.21a pour une structure à toit plat et à la Figure E.21b pour une structure à toiture en pente. La Figure E.21c montre un exemple de SPF sur un bâtiment industriel.



IEC 2693/10

Figure E.21a – Dispositif de capture de SPF sur une structure à toit plat



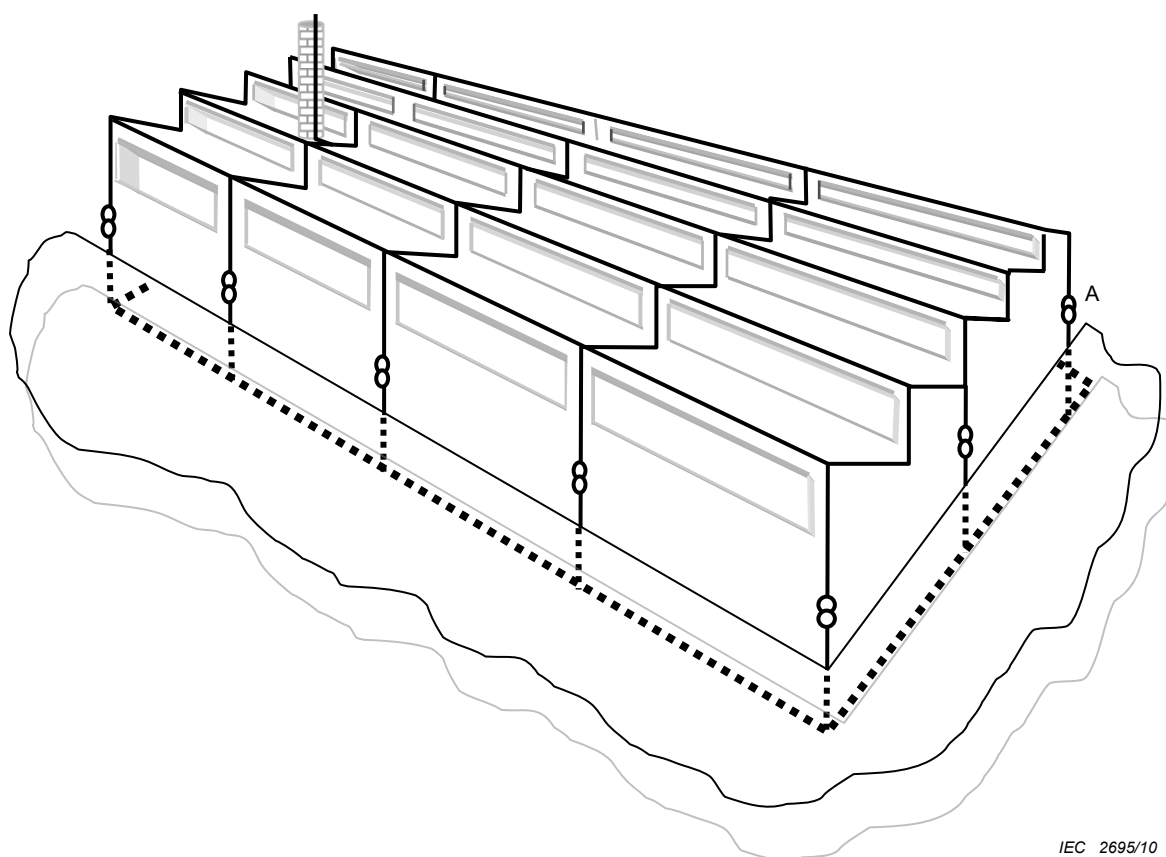
IEC 2694/10

Légende

w_m taille de la maille

NOTE Il convient que la dimension de la maille satisfasse au Tableau 2.

Figure E.21b – Dispositif de capture de SPF sur une structure à toiture en pente



IEC 2695/10

Légende

A borne d'essai

NOTE Il convient que toutes les dimensions soient conformes au niveau de protection choisi selon les Tableaux 1 et 2.

Figure E.21c – Exemple de SPF sur une structure à toiture étagée

Figure E.21 – Trois exemples de conception de dispositif de capture de SPF non isolé selon la méthode des mailles de capture



E.5.2.3 Dispositifs de capture pour les coups de foudre latéraux sur des structures élevées

Il convient, dans les structures hautes de plus de 60 m, que les 20 % des surfaces latérales les plus hautes soient équipées de dispositifs de capture. Pour la partie de cette surface à protéger inférieure à 60 m, la protection peut être omise.

NOTE 1 Pour les structures dont la hauteur est comprise entre 60 m et 75 m, il n'est pas nécessaire que l'extension de la zone protégée soit effective en dessous de 60 m.

NOTE 2 Si des parties sensibles (par exemple, matériels électroniques) sont présentes à l'extérieur de la partie supérieure du bâtiment, il convient de les protéger par des mesures de capture particulières, telles que des épis de faîtage horizontaux, des conducteurs maillés ou équivalents.

E.5.2.4 Mise en œuvre

E.5.2.4.1 Informations générales

La température maximale admissible d'un conducteur ne sera pas dépassée si sa section est conforme au Tableau 6 et à la série EN 50164.

Il convient qu'une toiture ou une paroi constituée de matériaux combustibles soit protégée des échauffements dangereux du courant de foudre contribuant à l'échauffement des conducteurs SPF, par l'application d'une ou plusieurs des mesures suivantes :

- réduction de la température des conducteurs par augmentation de la section;
- accroissement de la distance entre les conducteurs et le revêtement de toiture (voir également 5.2.4);
- ajout d'une couche de protection contre la chaleur entre les conducteurs et les matériaux combustibles.

NOTE Des recherches ont montré qu'il est avantageux pour les tiges de capture d'avoir un bout arrondi.

E.5.2.4.2 Dispositif de capture non isolé

Il convient que les conducteurs de capture et les conducteurs de descente soient interconnectés au moyen de conducteurs de toiture afin d'assurer une distribution de courant suffisante entre les conducteurs de descente.

Les conducteurs de toiture et les connexions des tiges de capture peuvent être fixés sur la toiture par des séparateurs et des fixations conducteurs ou non. Les conducteurs peuvent également être installés sur la surface d'une paroi si celle-ci est constituée d'un matériau non combustible.

NOTE Pour plus de détails, voir la série EN 50164.

Les points de fixation recommandés pour ces conducteurs sont indiqués au Tableau E.1.

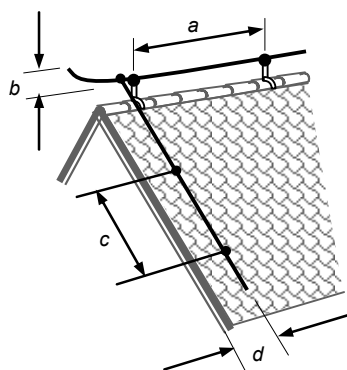
Tableau E.1 – Points de fixation suggérés

Disposition	Points de fixation pour conducteurs ruban, torsadés et ronds étirés et souples mm	Points de fixation pour conducteurs pleins ronds mm
Conducteurs horizontaux sur surfaces horizontales	1 000	1 000
Conducteurs horizontaux sur surfaces verticales	500	1 000
Conducteurs verticaux du sol jusqu'à 20 m	1 000	1 000
Conducteurs verticaux au-dessus de 20 m	500	1 000
NOTE 1 Ce tableau ne s'applique pas à des fixations préfabriquées, qui peuvent requérir des études particulières.		
NOTE 2 Il convient que la détermination des conditions d'environnement (c'est-à-dire la charge due au vent prévue) soit effectuée et il se peut que des points de fixation différents de ceux recommandés se révèlent nécessaires.		

Sur les petites maisons et structures analogues avec arête de toiture, il convient d'installer un conducteur de toiture sur l'arête. Si la structure est entièrement située dans la zone protégée assurée par le conducteur d'arête, il convient de disposer au moins deux conducteurs de descente au-dessus des arêtes de pignon aux coins opposés de la structure.

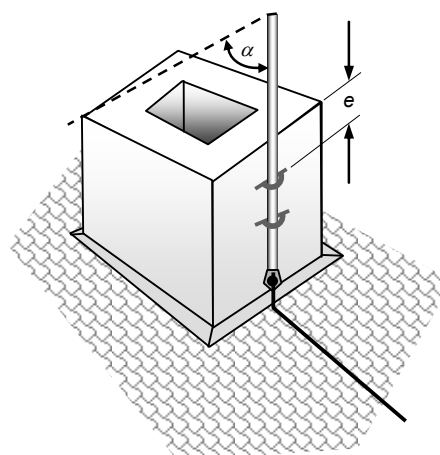
Les gouttières en bord de toiture peuvent être utilisées comme conducteurs naturels à condition qu'elles soient conformes à 5.2.5.

Les Figures E.22a, E.22b et E.22c illustrent un exemple de disposition de conducteurs sur une toiture et de conducteurs de descente sur une structure à toiture en pente.



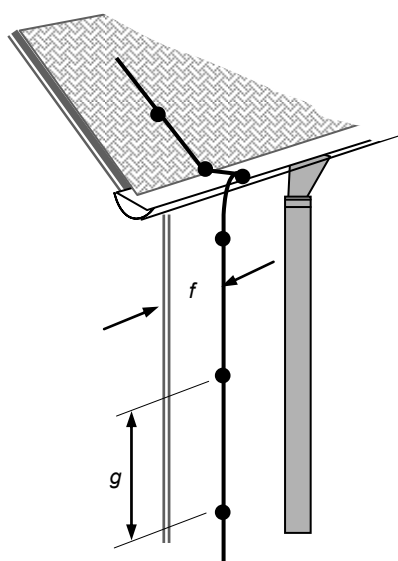
IEC 2696/10

Figure E.22a – Installation d'un conducteur de capture sur la bordure d'un toit en pente et d'un conducteur de descente



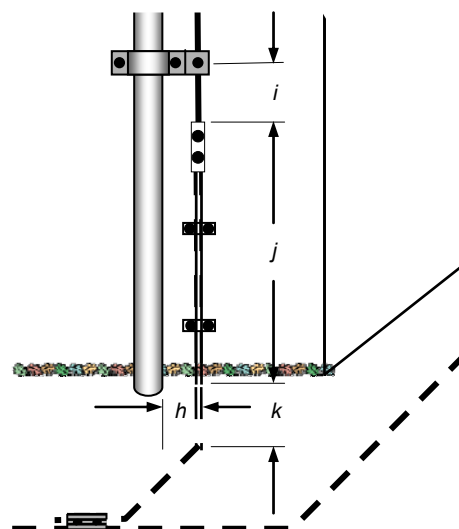
IEC 2697/10

Figure E.22b – Installation d'une tige de capture pour la protection d'une cheminée par la méthode de conception des dispositifs de capture avec angle de protection



IEC 2698/10

Figure E.22c – Installation d'un conducteur de descente avec connexion à la gouttière



IEC 2699/10

Figure E.22d – Installation d'une borne d'essai sur un conducteur de descente et connexion à une descente de gouttière

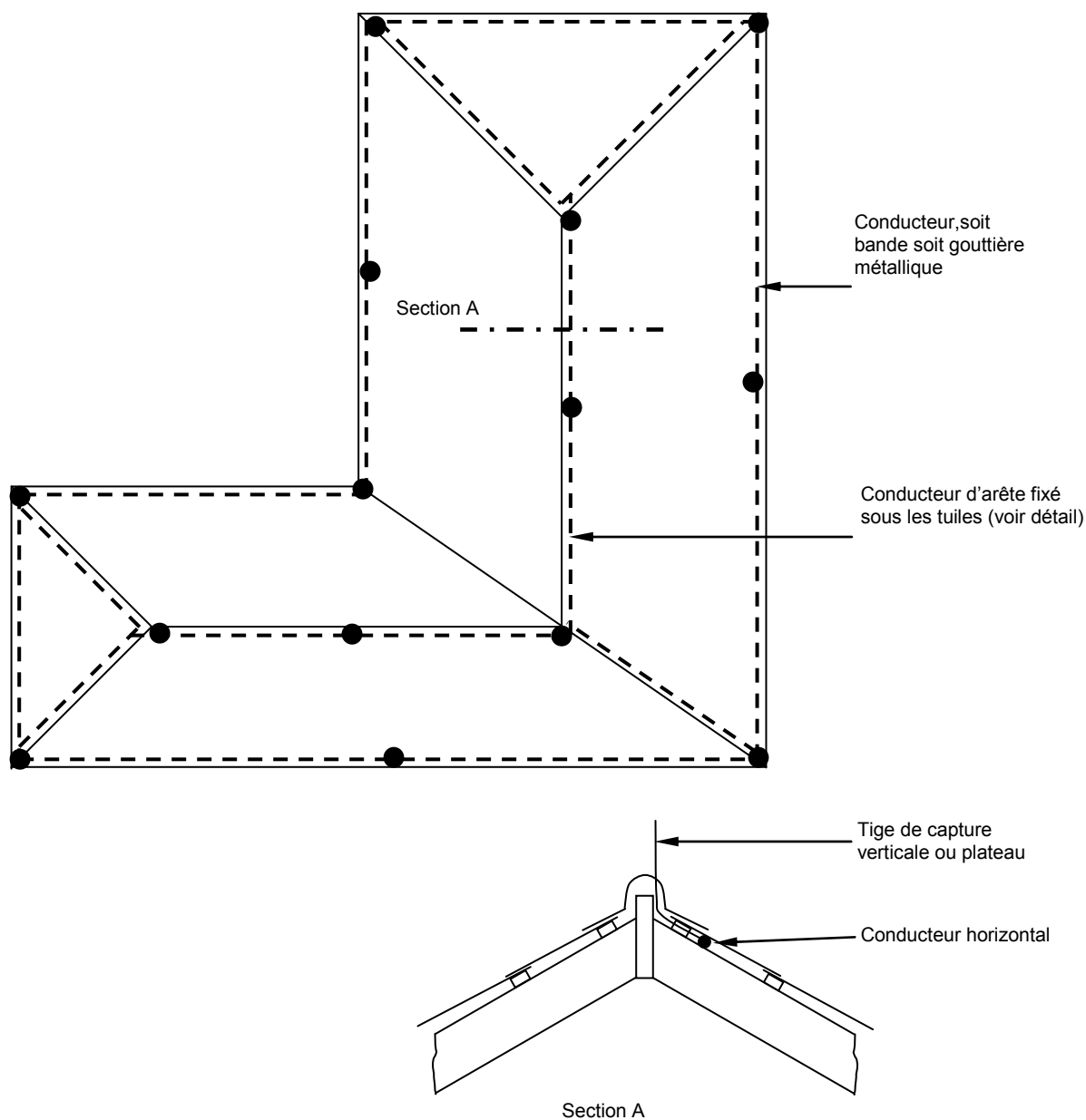
Exemples de dimensions appropriées:

a	1 m
b	0,15 m (non obligatoire)
c	1 m
d	aussi proche que possible du bord
e	0,2 m
f	0,3 m

g	1 m
h	0,05 m
i	0,3 m
j	1,5 m
k	0,5 m
α	angle de protection selon le Tableau 2

Figure E.22 – Quatre exemples de détails d'un SPF sur une structure avec toitures en pente recouvertes de tuiles

La Figure E.23 montre un exemple de SPF avec conducteurs cachés.



IEC 2700/10

Légende

- conducteur caché
- dispositif de capture vertical (tige verticale nue de 0,3 m de haut) à distances courtes (<10 m) ou plateaux à intervalles <5 m

Figure E.23 – Dispositif de capture et conducteurs cachés pour des bâtiments de hauteur inférieure à 20 m, avec des toits en pente

Dans le cas de structures en longueur, il convient de connecter des conducteurs supplémentaires, conformes au Tableau 4, aux conducteurs de capture montés sur l'arête de toiture.

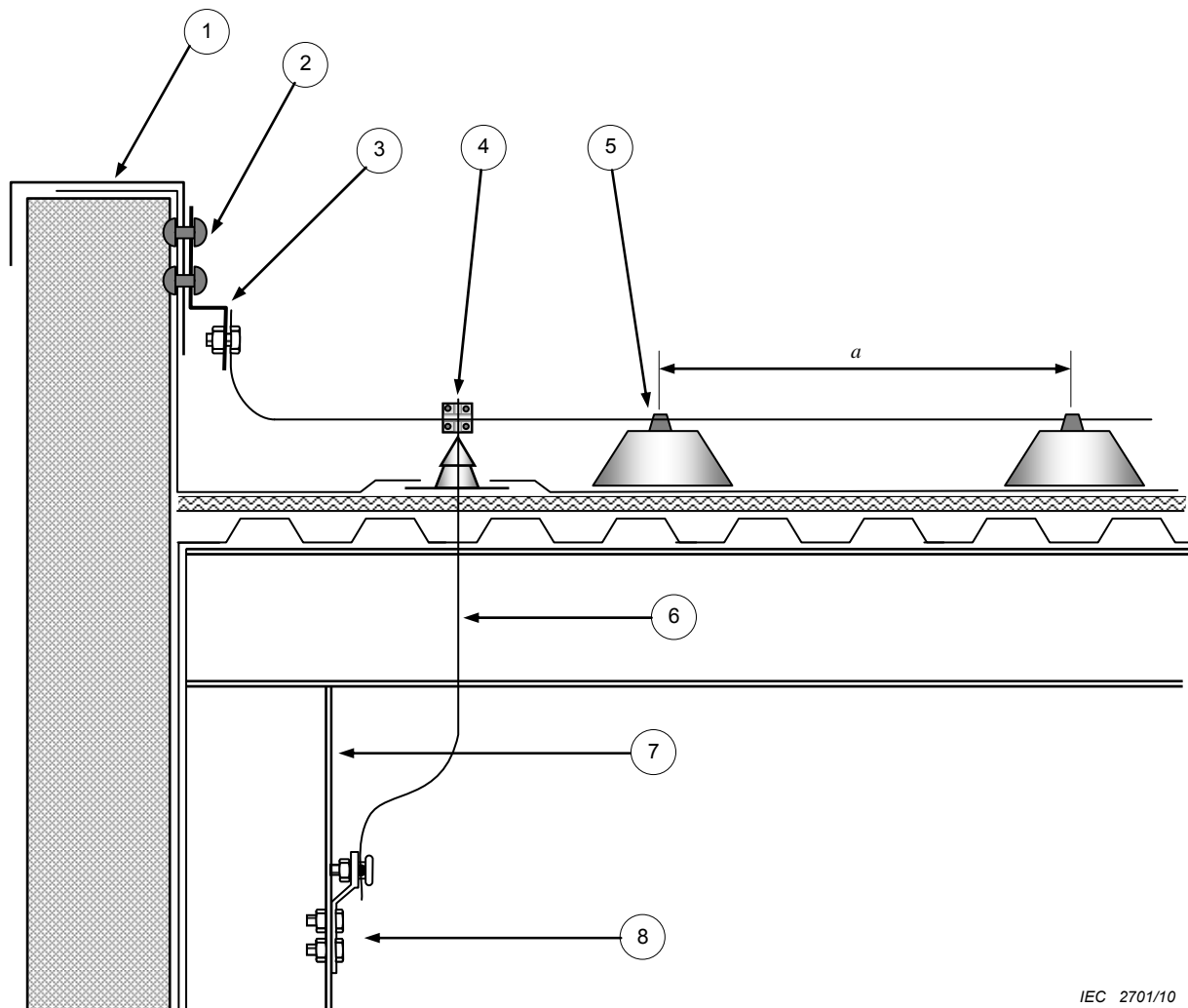
Pour des bâtiments avec des encorbellements importants, il convient que le conducteur d'arête de toiture s'étende jusqu'au bord. Sur l'arête du pignon de la toiture, il convient de connecter un conducteur entre le conducteur d'arête et le conducteur de descente.

Il convient, dans toute la mesure du possible, 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 les tuiles, mais 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, lorsque des méthodes de fixation appropriées existent, au-dessus des tuiles (c'est-à-dire à l'extérieur) réduisant ainsi le risque de dommage de ces dernières en cas de coup de foudre direct sur le conducteur. L'installation du conducteur au-dessus des tuiles simplifie également l'inspection. Il convient que les conducteurs situés sous les tuiles soient de préférence fournis avec de courts épis de faîtage verticaux apparaissant au-dessus du toit, leur espacement ne dépassant pas 10 m. Des parties métalliques exposées appropriées peuvent également être utilisées (voir Figure E.23) à condition qu'elles ne soient pas espacées de plus de 5 m.

Sur des structures avec terrasse, il convient d'installer les conducteurs périphériques le plus près possible des arêtes extérieures de la toiture, dans la mesure où la pratique le permet.

Lorsque la surface de la toiture dépasse la dimension de la maille définie dans le Tableau 2, il convient d'installer des conducteurs de capture supplémentaires.

Les Figures E.22a, E.22b et E.22c montrent des exemples détaillés de fixations de conducteurs de capture sur la toiture en pente d'une structure. La Figure E.24 fournit un exemple détaillé de fixations sur une toiture en terrasse.



IEC 2701/10

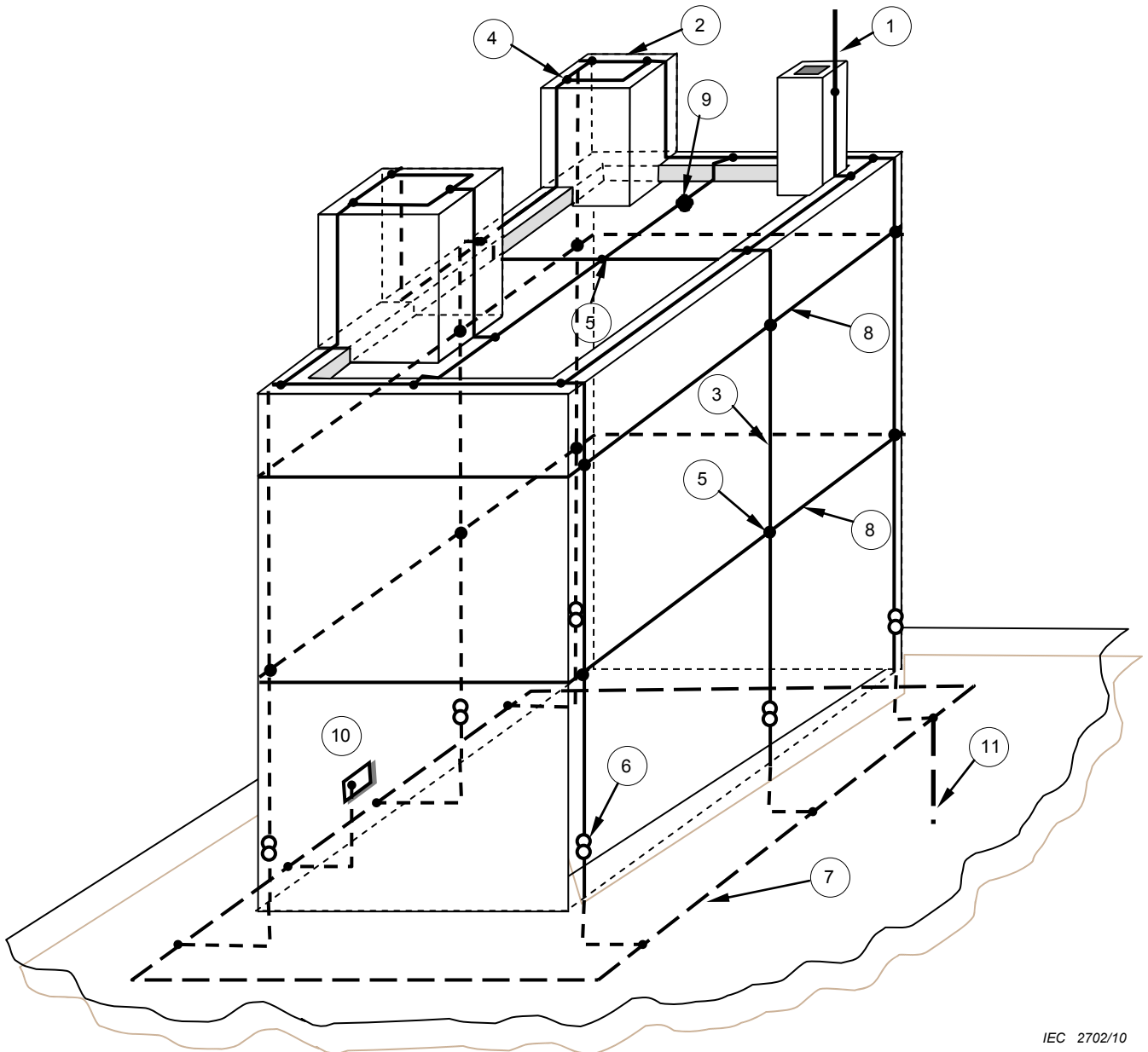
Légende

a	500 mm à 1 000 mm, voir Tableau E.1	5	fixation du conducteur de capture
1	parapet du toit	6	SPF traversant un système d'étanchéité
2	borne	7	poutre en acier
3	conducteur souple	8	borne
4	bornes T		

NOTE Le revêtement métallique du parapet du toit est utilisé comme conducteur de capture et est connecté à la poutre en acier utilisée comme conducteur de descente naturel du SPF.

Figure E.24 – Installation d'un SPF utilisant les composants naturels du toit de la structure

La Figure E.25 montre l'emplacement du SPF extérieur sur une structure avec terrasse en matériau isolant tel que du bois ou des briques. Les fixations de toiture se situent dans l'espace à protéger. Sur des structures élevées, un ceinturage interconnectant tous les conducteurs de descente est installé sur la façade. Il convient que les distances entre ces conducteurs de ceinturage soient conformes à 5.3.1. Les conducteurs de ceinturage sous le rayon de la sphère fictive sont nécessaires comme conducteurs d'équipotentialité.



IEC 2702/10

Légende

- | | |
|------------------------------------|--|
| 1 tige de capture | 7 disposition de prise de terre de type B, prise de terre en boucle |
| 2 conducteur de capture horizontal | 8 conducteur d'équipotentialité de ceinturage |
| 3 conducteur de descente | 9 toiture en terrasse avec fixation de toiture |
| 4 borne T | 10 prise pour la connexion de la barre d'équipotentialité du SPF intérieur |
| 5 borne de croisement | 11 électrode de terre verticale |
| 6 borne d'essai | |

NOTE Un ceinturage équipotentiel est appliqué. La distance entre les conducteurs de descente est conforme aux exigences du Tableau 4.

Figure E.25 – Emplacement du SPF extérieur sur une structure en matériau isolant, par exemple, du bois ou des briques, d'une hauteur maximale de 60 m avec toiture en terrasse et fixations de toiture

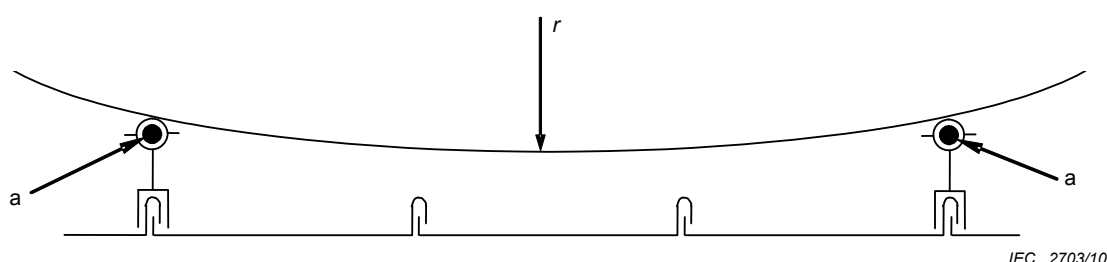
Il convient que les conducteurs du SPF et les tiges soient mécaniquement fixés de manière à pouvoir supporter les contraintes dues au vent ou les conditions climatiques, ainsi que les travaux effectués sur la surface de la toiture.

Le revêtement métallique utilisé pour la protection mécanique du revêtement de parapet des parois extérieures peut servir de composant naturel du dispositif de capture, selon 5.2.5, si aucun risque d'inflammation par fusion métallique n'existe. L'inflammabilité dépend du type de matériau sous le revêtement métallique. Il convient que l'inflammabilité du matériau employé soit confirmée par le maître d'œuvre.

L'étanchéité de toitures métalliques ou autres peut être perforée par un impact de foudre. Dans ce cas, l'eau peut pénétrer et s'écouler le long de la toiture en un point éloigné du point d'impact. Si cela doit être évité, il convient d'installer un dispositif de capture.

Les coupoles, volets de fumées et d'évacuation sont normalement fermés. Il convient que la conception de la protection de ces volets soit discutée avec l'acheteur/propriétaire du bâtiment afin de décider du type de protection qu'il convient d'appliquer pour les volets à l'état ouvert, fermé et dans toutes les positions intermédiaires.

Les revêtements conducteurs de toiture non conformes à 5.2.5 peuvent être utilisés comme conducteurs de capture lorsque la fusion au point d'impact de la foudre peut être acceptée. Si tel n'est pas le cas, il convient que le revêtement conducteur de toiture soit protégé par un dispositif de capture de hauteur suffisante (voir Figure E.20 et Figure E.26).



IEC 2703/10

Légende

- r rayon de la sphère fictive, Tableau 2
- a conducteurs de capture

NOTE Il convient que la sphère ne touche aucune partie de la toiture métallique, y compris les soudures.

Figure E.26 – Installation d'un réseau de capture sur une toiture avec revêtement conducteur où le percement de la couverture n'est pas acceptable

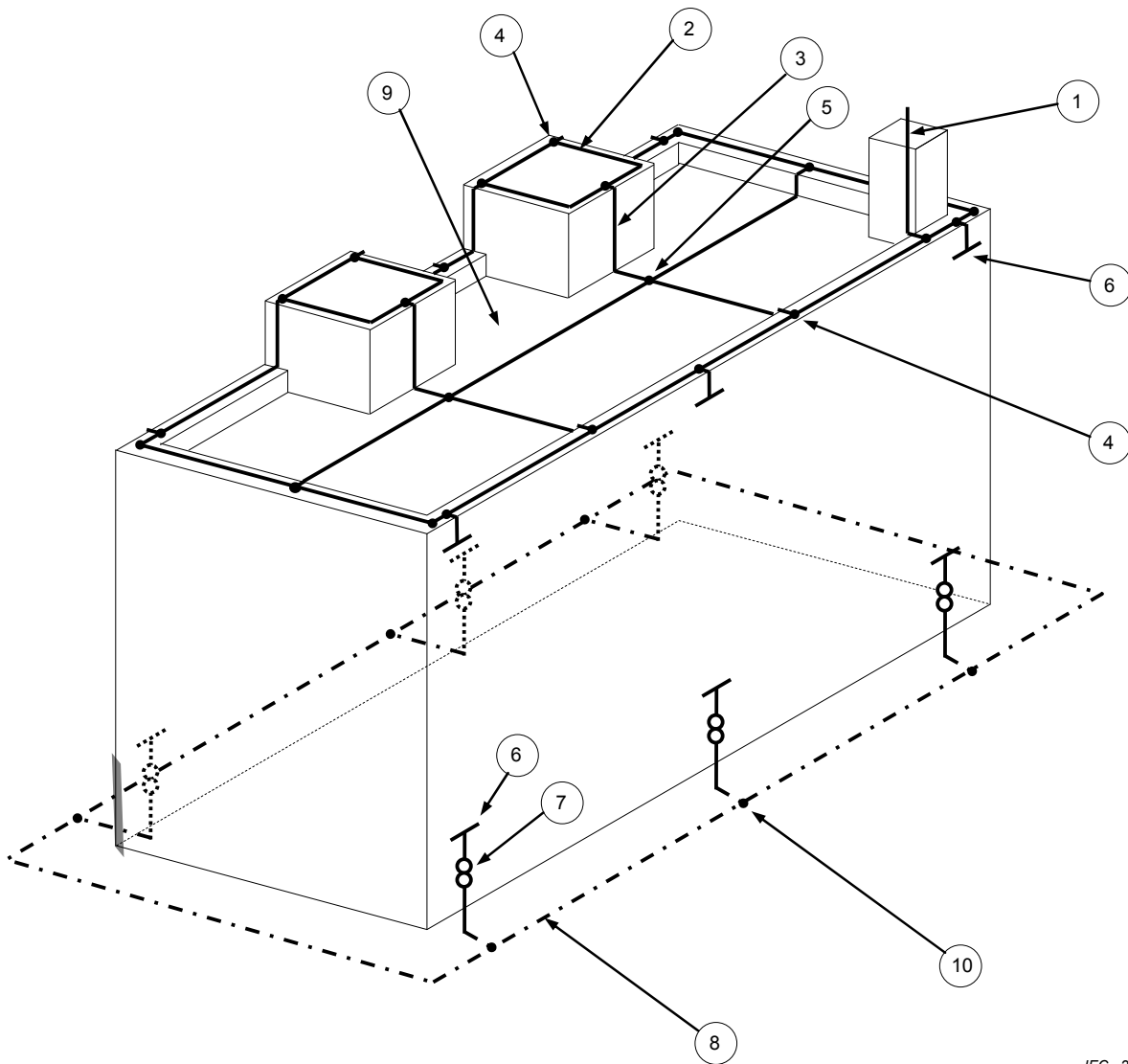
Des supports non-conducteurs et conducteurs sont admis.

Lorsque des supports conducteurs sont utilisés, il convient que la connexion à la toiture supporte une partie du courant de foudre (voir Figure E.26).

La Figure E.24 montre un exemple de dispositif de capture naturel utilisant un parapet de toit comme conducteur de capture sur la bordure du toit.

Il convient que les structures affleurantes et proéminentes de la toiture soient protégées au moyen de tiges de capture ou, en variante, il convient que les parties métalliques extérieures soient connectées au SPF à moins qu'elles ne soient conformes à 5.2.5.

La Figure E.27 montre un exemple de connexion du dispositif de capture aux conducteurs de descente naturels dans le béton.



IEC 2704/10

Légende

- 1 tige de capture
- 2 conducteur de capture horizontal
- 3 conducteur de descente
- 4 borne T
- 5 borne de croisement
- 6 connexion aux tiges de renfort en acier (voir E 4.3.3 et E.4.3.6)
- 7 borne d'essai
- 8 disposition de terre de type B, prise de terre en boucle
- 9 toiture en terrasse avec fixations
- 10 borne T - résistante à la corrosion

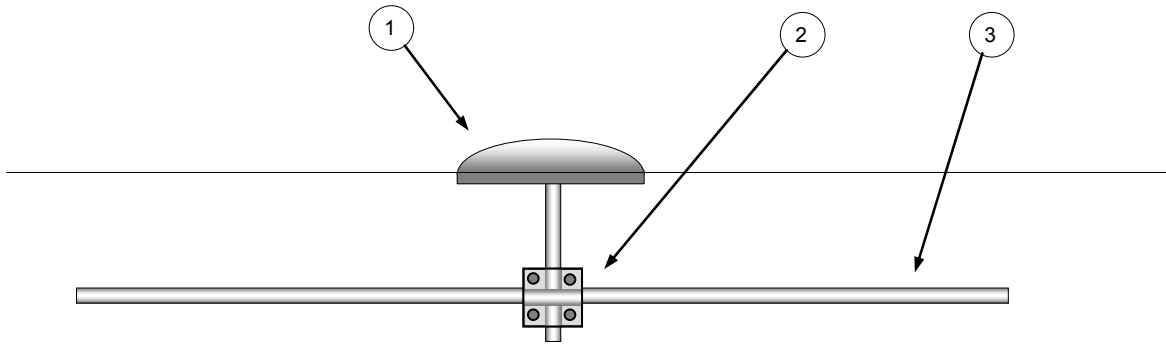
NOTE Il convient que l'armature d'acier de la structure soit conforme à 4.3. Il convient que toutes les dimensions du SPF soient conformes au niveau de protection choisi.

Figure E.27 – Installation d'un SPF extérieur sur une structure à armature d'acier utilisant l'armature des parois extérieures comme composants naturels

E.5.2.4.2.1 Protection contre la foudre des toitures de parcs de stationnement multi-étages

Pour la protection de ce type de structure, des goujons de capture peuvent être utilisés. Ces goujons peuvent être connectés à l'armature d'acier d'une toiture en béton (voir Figure E.28). Dans le cas de toitures pour lesquelles une connexion à l'armature ne peut être réalisée, les conducteurs de toiture peuvent être disposés dans les jointures de dalles et les goujons de

capture aux points maillés. La largeur des mailles ne doit pas excéder la valeur correspondant à la classe de protection donnée dans le Tableau 2. Dans ce cas, les personnes et les véhicules présents sur cette aire de stationnement ne sont pas protégés contre la foudre.



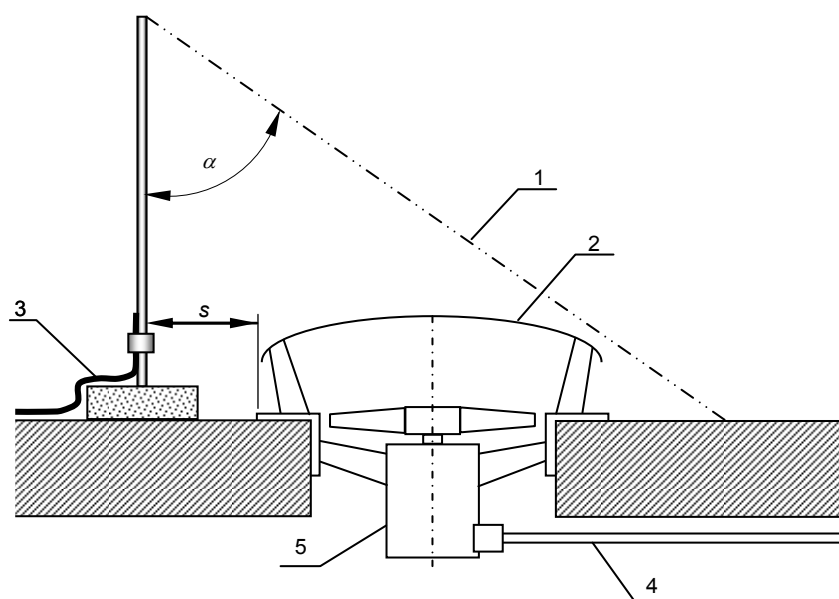
IEC 2705/10

Légende

- 1 goujon de capture
- 2 conducteur en acier connecté à plusieurs barres de l'armature d'acier
- 3 armature d'acier dans le béton

Figure E.28 – Exemple de goujon de capture utilisé sur les toitures de parcs de stationnement

Si l'aire de stationnement supérieure doit être protégée contre les coups de foudre directs, il convient d'utiliser des tiges de capture et/ou des conducteurs aériens.



IEC 2706/10

Légende

- 1 cône de protection
- 2 fixation métallique de toiture
- 3 conducteur de capture horizontal
- 4 canalisation électrique, de préférence sous un écran conducteur
- 5 matériel électrique
- s distance de séparation selon 6.3
- α angle de protection, voir Tableau 2

NOTE Il convient que la hauteur de la tige de capture soit conforme au Tableau 2.

Figure E.29 – Tige de capture utilisée pour la protection d'une fixation métallique de toiture comportant des installations électriques non reliées au dispositif de capture

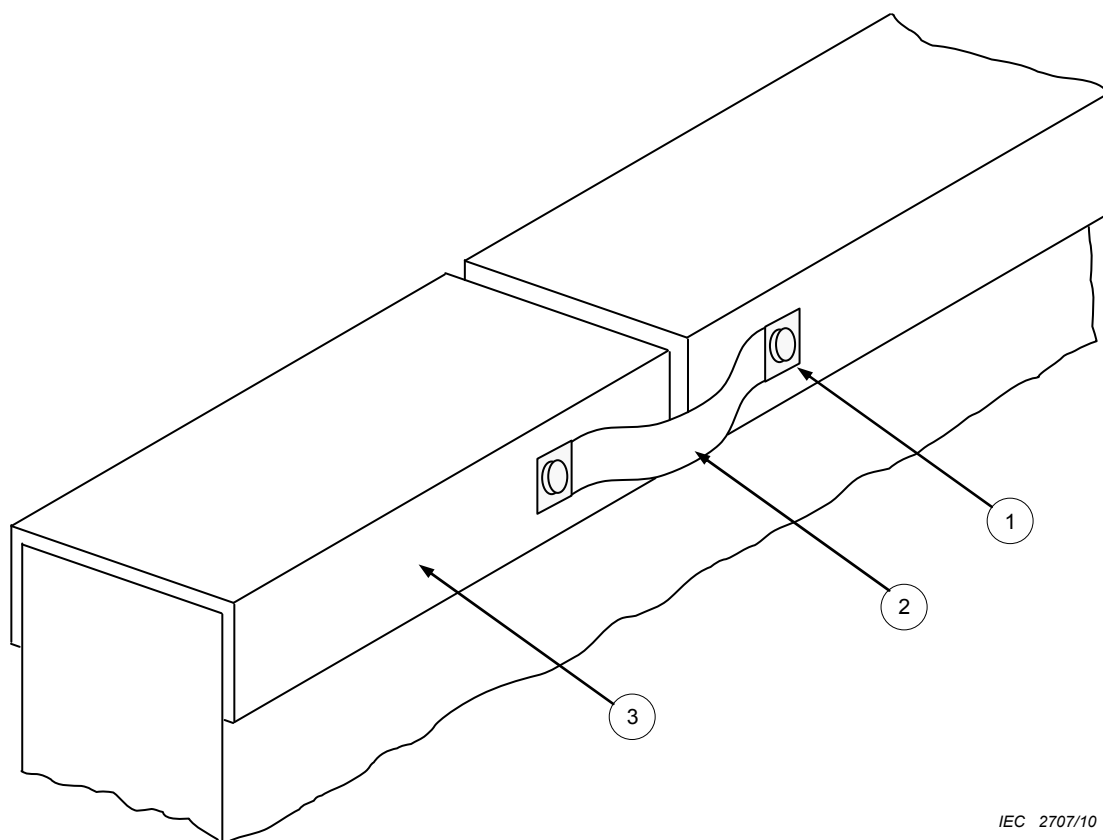
Dans le cas de conducteurs verticaux, il convient de tenir compte de la zone à portée de main. La distance de séparation nécessaire peut être obtenue au moyen de barrières ou de câbles de protection.

Il convient de prévoir des panneaux d'avertissement aux entrées pour attirer l'attention sur le risque de coups de foudre en cas d'orage.

Les tensions de contact et de pas peuvent ne pas être prises en compte si la toiture est recouverte d'une couche d'asphalte d'au moins 50 mm d'épaisseur. De plus, les tensions de pas peuvent ne pas être prises en compte si la toiture est en béton armé avec armature d'acier interconnectée dont la continuité est conforme à 4.3.

E.5.2.4.2.2 Structures à toitures-terrasses en béton armé non accessibles au public

Pour une toiture en terrasse non accessible au public avec dispositif de capture externe incorporé, il convient d'installer les conducteurs de capture tel qu'illustré à la Figure E.27. Pour le conducteur d'équipotentialité de ceinturage sur le toit, le revêtement métallique du parapet de toit peut être utilisé tel qu'illustré aux Figures E.24 et E.30.



IEC 2707/10

Légende

- 1 borne anticorrosive
- 2 conducteur souple
- 3 revêtement métallique du parapet

NOTE Il convient d'accorder une attention toute particulière au choix correct des matériaux et à la conception appropriée des bornes et des conducteurs de pontage pour éviter toute corrosion.

Figure E.30 – Méthode de réalisation d'une continuité électrique sur un revêtement de parapet métallique

La Figure E.27 montre une méthode d'installation de conducteurs maillés sur un toit.

Lorsqu'un dommage mécanique temporaire de la couche étanche du toit d'une structure est acceptable, le maillage de capture qui recouvre la surface plate du toit peut être remplacé par des conducteurs de capture naturels constitués par des barres d'armature d'acier en béton selon 5.2.4. Une solution alternative acceptable consiste à fixer les conducteurs de capture du SPF directement sur le toit en béton.

En général, un coup de foudre sur l'armature d'une toiture en béton endommage la couche étanche. La pluie peut alors entraîner la corrosion des tiges de renfort en acier et provoquer des dommages. Si une diminution de la contrainte mécanique du béton due à la corrosion n'est pas admise, il convient d'installer un dispositif de capture et de le relier de préférence à l'armature d'acier, pour éviter les impacts de foudre directs sur le béton armé.

Le revêtement métallique prévu pour la protection mécanique des parois extérieures (revêtement de parapet) peut être utilisé comme composant naturel du dispositif de capture selon 5.2.5 si aucun risque d'inflammation par fusion du métal n'existe.

Les revêtements conducteurs de toiture non conformes au Tableau 3 peuvent être utilisés comme dispositifs de capture lorsque la fusion au point d'impact de la foudre peut être tolérée. Dans le cas contraire, il convient que le revêtement conducteur de toiture soit protégé par un dispositif de capture de hauteur suffisante (voir les Figures E.20 et E.26). Dans ce cas, il convient d'appliquer la méthode de la sphère fictive. Pour être cohérent à cette méthode, la taille de la maille doit être réduite et la hauteur des supports doit être supérieure à celle d'un dispositif de capture maillé ordinaire.

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

La Figure E.24 montre un exemple de dispositif de capture naturel utilisant un parapet de toiture comme conducteur de capture au bord de la toiture.

Lorsqu'il est acceptable que des dommages temporaires de la façade se produisent, et que des morceaux cassés de béton, d'une épaisseur jusqu'à 100 mm, puissent tomber de la structure, il est permis, selon 5.2, de remplacer le conducteur de ceinturage de toiture par un conducteur de ceinturage naturel constitué d'une armature d'acier dans le béton.

Les parties métalliques ne satisfaisant pas aux conditions des dispositifs de capture stipulées en 5.2.5 peuvent toutefois être utilisées pour l'interconnexion des différentes parties conduisant le courant de foudre sur la toiture.

E.5.2.4.2.3 Structure blindée appropriée

Les murs extérieurs et le toit d'une structure peuvent être utilisés comme blindage électromagnétique afin de protéger les matériels électriques et informatiques dans la structure (voir Annexe B de la EN 62305-2:2010 et la EN 62305-4).

La Figure E.27 donne un exemple de structure en béton armé utilisant les armatures d'acier interconnectées comme conducteurs de descente et comme blindage électromagnétique de l'espace délimité. Pour plus de détails, voir la EN 62305-4.

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 interconnectées pour constituer une maille. Il convient de connecter le blindage maillé au dispositif de capture au bord du toit et également aux autres points de la toiture conformément à 6.2.

Les Figures E.24 et E.30 montrent des dispositifs de capture sur des structures à ossatures conductrices utilisant le parapet de toit comme dispositif de capture naturel et l'ossature comme conducteurs de descente naturels.

La Figure E.30 donne un exemple de méthode d'assurance de la continuité électrique des composants naturels d'un SPF.

En raison de la réduction de la taille du maillage des structures en acier par rapport au Tableau 2, le courant de foudre se répartit dans plusieurs conducteurs parallèles donnant lieu à une faible impédance électromagnétique, et, par voie de conséquence, conformément à 6.3, les distances de séparation sont réduites et les distances de séparation nécessaires entre les installations et le SPF ne sont pas requises.

Dans la plupart des structures, le toit est la partie la moins blindée de la structure. Il convient par conséquent d'accorder une attention toute particulière à l'amélioration de l'efficacité du blindage des toitures.

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

E.5.2.4.2.4 Protection de fixations de toitures affleurantes ou en saillie

Il convient que les tiges de capture pour la protection de fixations de toitures métalliques affleurantes ou présentant des parties proéminentes soient à une hauteur telle que la fixation à protéger se situe totalement dans l'espace de protection de la sphère fictive de la tige de capture, ou dans le cône de l'angle de protection conformément au Tableau 2. Il convient que la distance de séparation entre les tiges de capture et les fixations de toiture soit telle que la condition de proximité stipulée en 6.3 soit satisfaite.

La Figure E.29 montre un exemple de protection de fixations de toiture par des tiges de capture utilisant la méthode de l'angle de protection. La valeur de l'angle de protection doit être conforme au niveau de protection du SPF stipulé dans le Tableau 2.

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

- hauteur au-dessus du toit: 0,3 m;
- surface totale de la fixation: 1,0 m²;
- longueur de la fixation: 2,0 m.

Il convient de relier les fixations de toiture métalliques affleurantes ne satisfaisant pas à ces exigences et ne relevant pas des exigences relatives à la distance de séparation selon 6.3, au dispositif de capture avec au moins un conducteur d'équipotentialité.

Les fixations de toiture non-conductrices qui ne sont pas dans le volume protégé par les tiges de capture et qui ne dépassent pas de plus de 0,5 m la surface formée par le dispositif de capture ne nécessitent pas de protection supplémentaire par les conducteurs de capture.

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

Il convient de protéger les cheminées en matériau non-conducteur par des tiges ou des ceinturages de capture lorsqu'elles ne se trouvent pas dans l'espace de protection d'un dispositif de capture. Il convient que la hauteur de la tige de capture d'une cheminée soit telle que la cheminée complète se trouve dans l'espace de protection de la tige.

Un coup de foudre sur une cheminée non-conductrice est possible lorsque la cheminée n'est pas située dans l'espace de protection d'un dispositif de capture, du fait que la surface interne de la cheminée est recouverte de suie, dont la conductivité, même en l'absence de pluie, est capable de conduire le courant d'un canal de décharge de grande longueur.

La Figure E.22b montre la mise en œuvre d'une tige de capture sur une cheminée en briques isolantes.

E.5.2.4.2.5 Protection de fixations de toiture incluant des matériels électriques ou informatiques

Il convient que toutes les fixations de toiture en matériau non-conducteur ou conducteur comportant des matériels électriques et/ou informatiques se situent dans l'espace de protection du dispositif de capture.

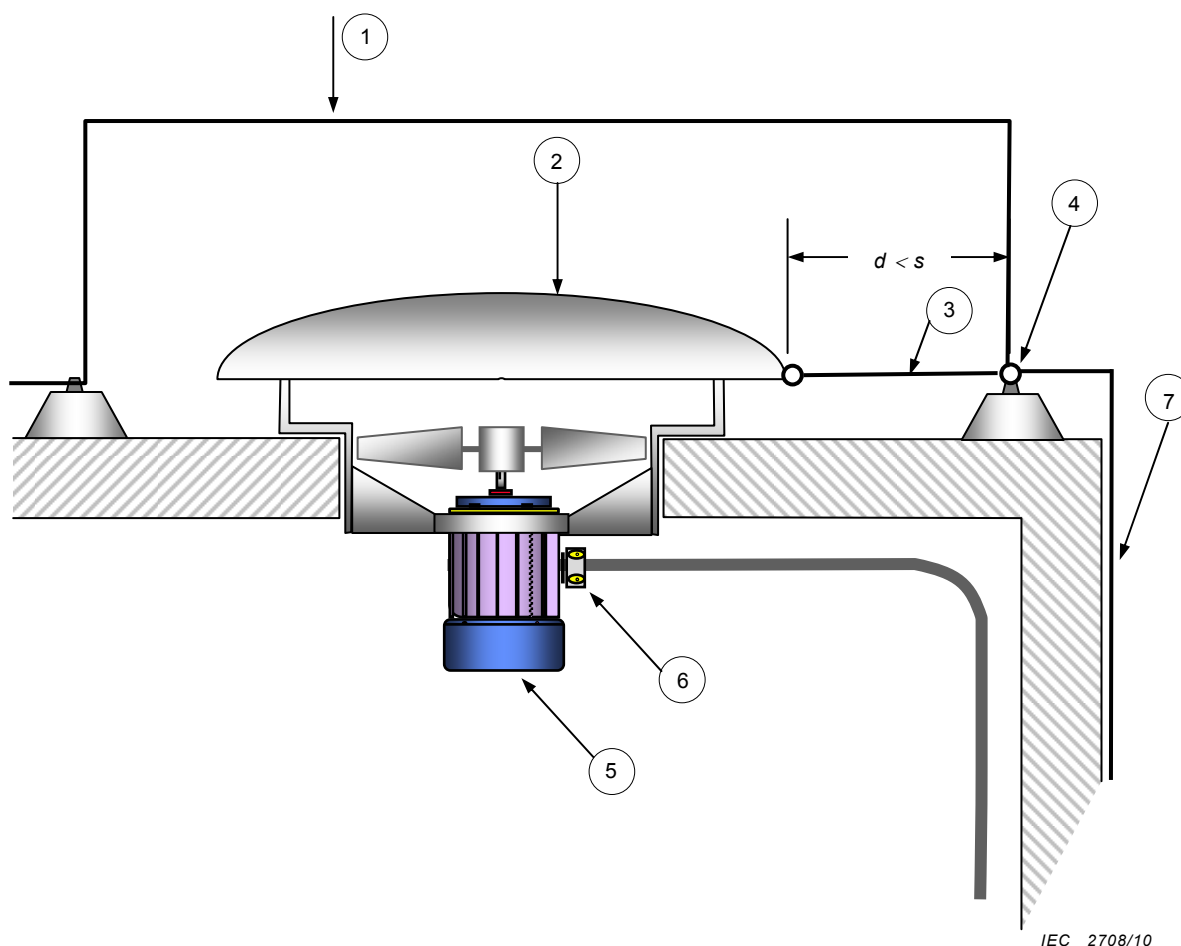
Un coup de foudre direct sur les matériels situés dans cet espace est improbable.

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

Il convient que les fixations de toiture sur des structures en acier se situent également dans l'espace de protection du dispositif de capture. Dans ce cas, il convient que les conducteurs de capture faisant saillie soient reliés non seulement au dispositif de capture, mais également directement à la structure en acier, si possible. Lorsque ces conducteurs sont reliés à la structure, il n'est pas nécessaire qu'ils soient conformes à la distance de séparation.

Il convient que les exigences relatives aux fixations de toiture s'appliquent également aux fixations installées sur des surfaces verticales sur lesquelles un impact de foudre est possible, c'est-à-dire qui peuvent être touchées par la sphère fictive.

Les Figures E.29 et E.31 contiennent des exemples de dispositifs de capture qui protègent les fixations de toiture d'installations électriques de protection en matériau conducteur et isolant. La Figure E.31 n'est appropriée que si la distance de séparation, s , ne peut être maintenue.



Légende

- 1 conducteur de capture
- 2 enveloppe métallique
- 3 conducteur d'équipotentialité
- 4 conducteur de capture horizontal
- 5 matériel électrique
- 6 boîte de jonction de puissance électrique - parafoudre
- 7 conducteur de descente

NOTE Le matériel électrique protégé est relié au dispositif de capture conforme à E.5.2.4.2.6, par le câble métallique blindé supportant une part importante du courant de foudre.

Figure E.31 – Fixation métallique de toiture protégée contre les impacts directs de la foudre, connectée au dispositif de capture

NOTE Si les fixations nécessitent une protection supplémentaire, des parafoudres installés sur les câbles actifs connectés aux dites fixations peuvent être placés au niveau du toit.

Il convient que la distance de séparation requise soit maintenue non seulement dans l'air, mais également pour le passage dans des matériaux pleins ($k_m = 0,5$).

E.5.2.4.2.6 Installation électrique faisant saillie de l'espace à protéger

Il convient que les mâts d'antennes installés sur la toiture d'une structure soient protégés contre les impacts de foudre directs en installant le mât d'antenne dans un volume déjà protégé.

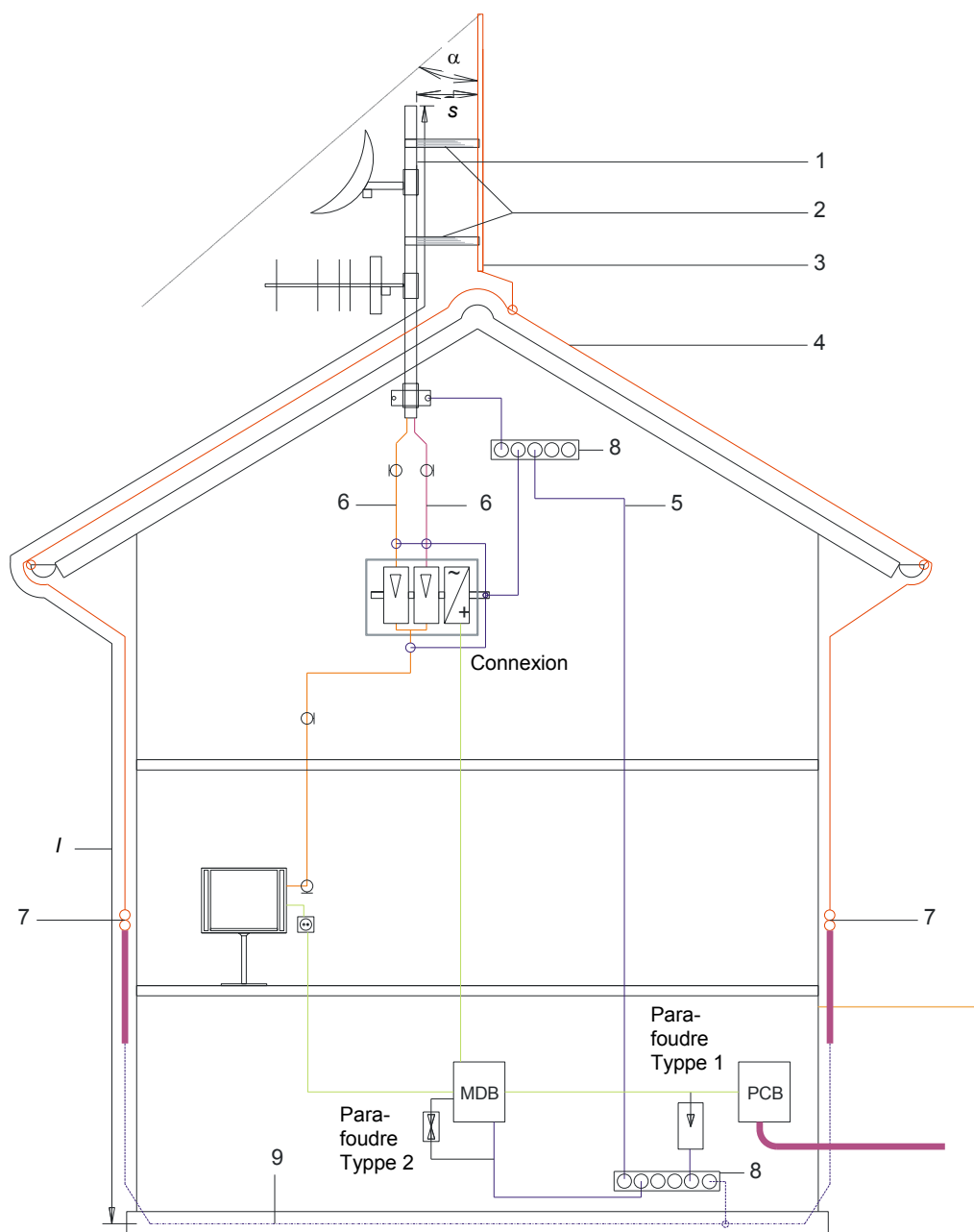
Il convient que le mât d'antenne soit intégré au SPF (voir également la CEI 60728-11^[6]).

Un SPF externe isolé (voir Figure E.32a) ou un SPF externe non isolé (voir Figure E.32b) peut être utilisé.

Dans ce dernier cas, il convient que le mât d'antenne soit connecté au dispositif de capture. Les courants partiels de foudre sont alors traités comme étant à l'intérieur de la structure à protéger. Il convient que le câble d'antenne pénètre dans la structure de préférence au point d'entrée commun de tous les services ou à proximité de la barre d'équipotentialité principale du SPF. Il convient que la gaine conductrice du câble d'antenne soit reliée au dispositif de capture sur le toit et à la barre d'équipotentialité principale.

Il convient que les fixations de toiture hébergeant des matériels électriques pour lesquelles la distance de séparation ne peut être maintenue, soient reliées au dispositif de capture et aux éléments conducteurs des fixations de toiture, ainsi qu'au blindage conducteur de leurs matériels électriques conformément au Tableau 9.

La Figure E.31 constitue un exemple de méthode de liaison d'une fixation de toiture avec les parties conductrices à une installation électrique et au dispositif de capture d'une structure.

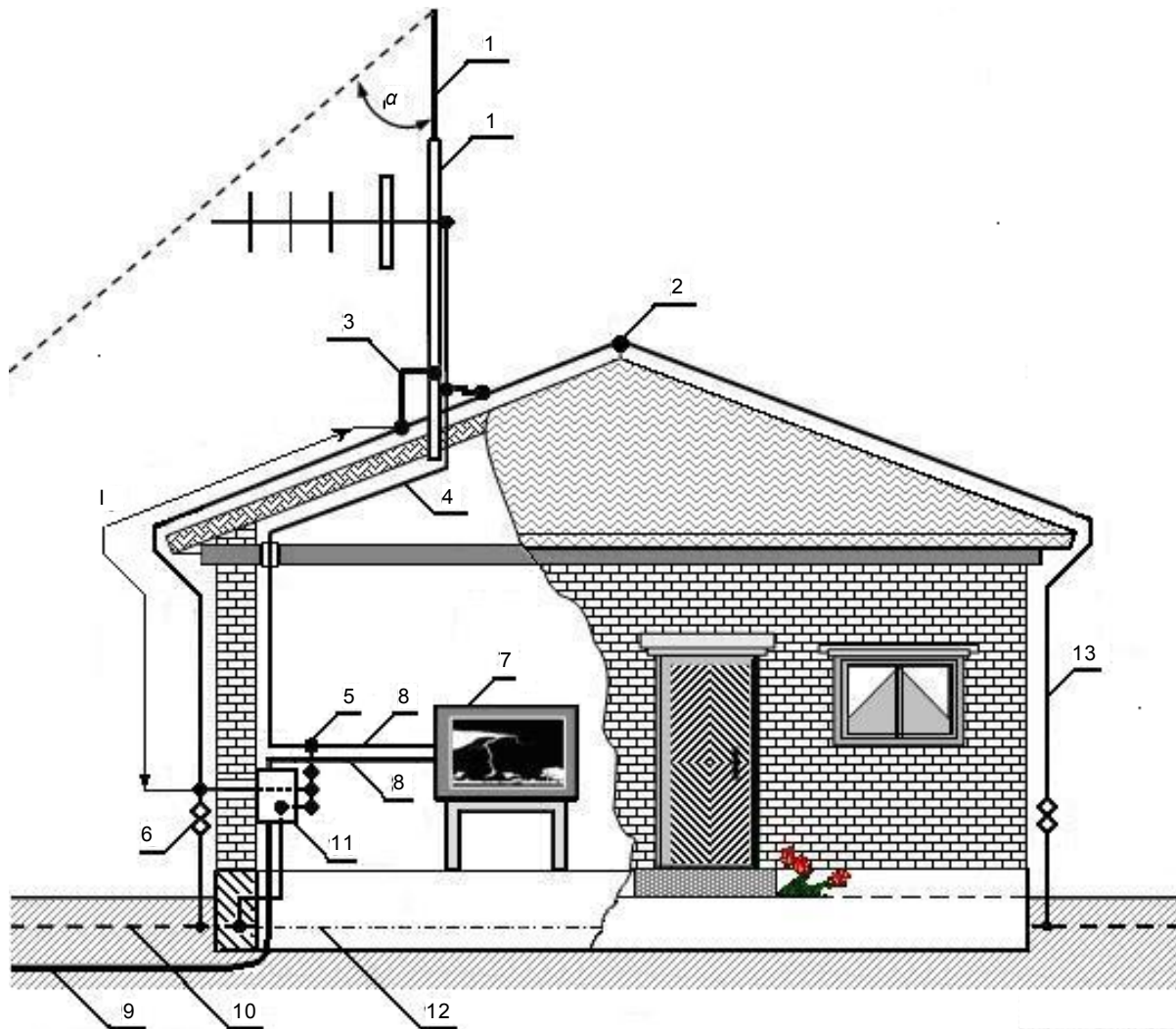


IEC 2709/10

Légende

- 1 mât métallique
- 2 isolateur
- 3 tige de capture
- 4 conducteur de capture
- 5 conducteur d'équipotentialité
- 6 câble d'antenne
- 7 borne d'essai
- 8 barre d'équipotentialité
- 9 prise de terre à fond de fouille
- α angle de protection
- s distance de séparation
- l longueur à prendre en compte pour le calcul de la distance de séparation
- MDB tableau de distribution principal
- PCB tableau de connexion d'alimentation

Figure E.32a – Mât d'antenne TV et antennes protégées avec des dispositifs de capture isolés prévus selon la méthode de l'angle de protection



IEC 2710/10

Légende

- 1 mât métallique
- 2 conducteur de capture horizontal en bordure du toit
- 3 connexion entre le conducteur de descente de toiture et le mât de l'antenne métallique
- 4 câble d'antenne
- 5 barre d'équipotentialité principale; blindage métallique du câble d'antenne relié à la barre d'équipotentialité
- 6 borne d'essai
- 7 TV
- 8 chemins parallèles des câbles d'antenne et de puissance électrique
- 9 câble de puissance électrique
- 10 réseau de prises de terre
- 11 tableau de distribution principal avec parafoudre
- 12 prise de terre à fond de fouille
- 13 conducteur du SPF
- α angle de protection
- l longueur à prendre en compte pour le calcul de la distance de séparation

NOTE Pour des petites structures, deux conducteurs de descente uniquement peuvent être suffisants, selon 5.3.3.

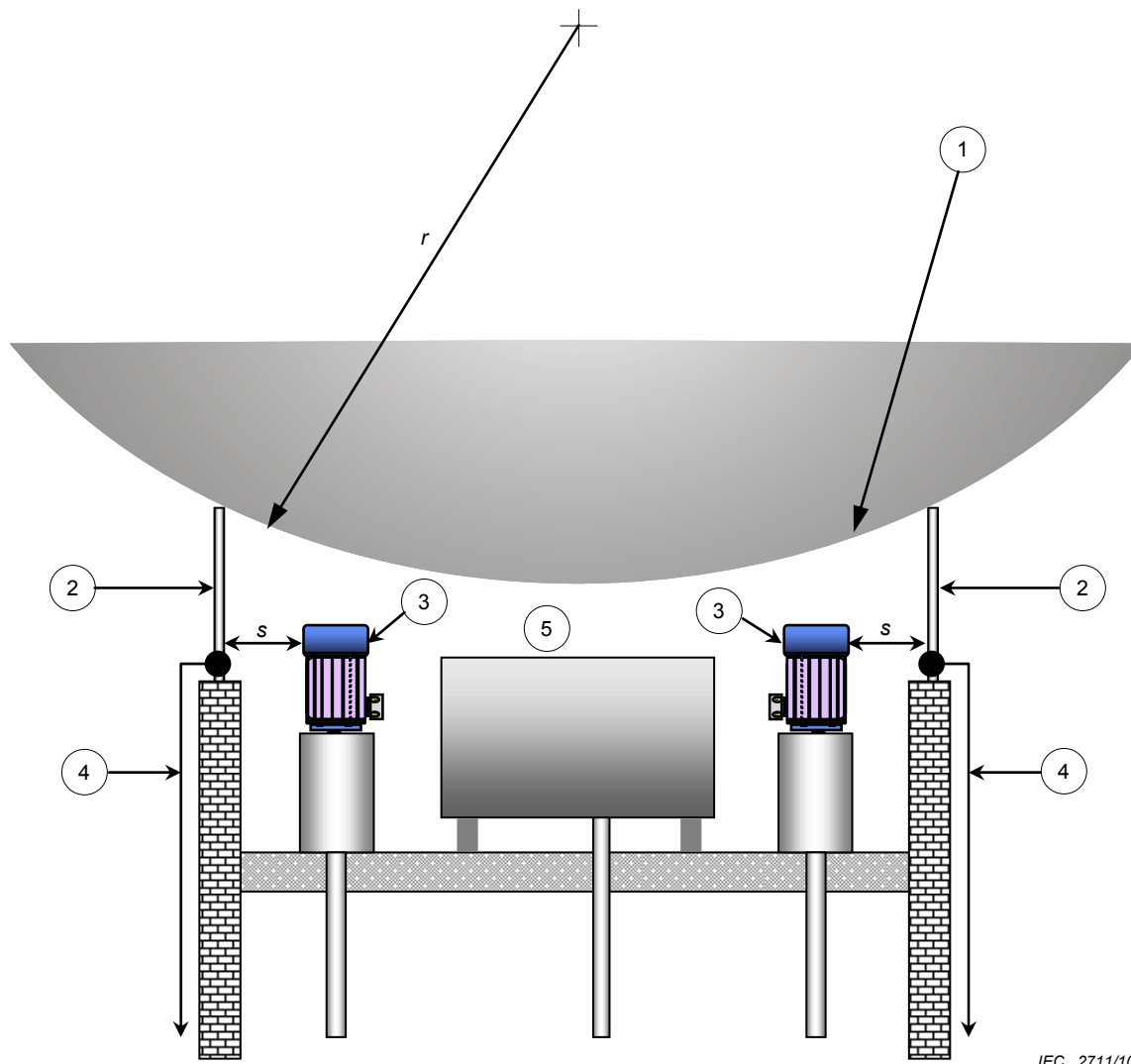
Figure E.32b – Antenne TV utilisant le mât comme tige de capture

Figure E.32 – Exemples d'installation d'un système de protection contre la foudre d'une maison avec antenne TV

E.5.2.4.2.7 Protection des parties conductrices de toiture

Il convient de protéger par des conducteurs de capture les éléments conducteurs, tels que ceux à faible épaisseur de paroi qui ne peuvent pas résister aux impacts de foudre et qui sont installés sur des toitures, ainsi que les revêtements de toiture conducteurs, ou d'autres parties de structures non conformes aux exigences relatives aux dispositifs de capture naturels selon 5.2.5 et le Tableau 3, et pour lesquels un impact de foudre ne peut être toléré.

Pour la conception de la protection contre la foudre des parties conductrices de la toiture, il convient d'appliquer la méthode de la sphère fictive (voir Figure E.33).



IEC 2711/10

Légende

- 1 sphère fictive
- 2 tige de capture
- 3 matériel électrique
- 4 conducteur de descente
- 5 cuve métallique
- r rayon de la sphère fictive, voir Tableau 2
- s distance de séparation selon 6.3

Figure E.33 – Installation d'un système de protection contre la foudre d'un équipement métallique de toiture contre un impact de foudre direct

La Figure E.31 constitue un exemple de conception d'un dispositif de capture protégeant une fixation de toiture conductrice contre un impact de foudre direct lorsque la distance de séparation, s , ne peut être maintenue.

E.5.2.4.2.8 Protection de structures recouvertes de terre

Pour les structures dont la toiture comporte une couche de terre, et sans présence régulière de personnes, un SPF normal peut être utilisé. Il convient que le dispositif de capture soit un maillage placé au sommet de la couche de terre, ou qu'il soit constitué de plusieurs tiges de capture, interconnectées par un maillage enterré, conforme à la méthode de la sphère fictive ou de l'angle de protection. Si cela n'est pas possible, il convient d'admettre qu'un dispositif de capture enterré sans tiges ou épis de faîtage offrira une efficacité d'interception réduite.

Les structures dont la toiture comporte une couche de terre d'une épaisseur jusqu'à 0,5 m, et avec présence régulière de personnes, nécessitent un dispositif de capture maillé avec des mailles de 5 m × 5 m afin d'éviter des tensions de pas dangereuses. Pour protéger les personnes au sol contre les impacts de foudre directs, des tiges de capture conformes à la méthode de la sphère fictive peuvent également être nécessaires. Ces tiges peuvent être remplacées par des dispositifs de capture naturels tels que des barrières, mâts d'éclairage, etc. La hauteur des dispositifs de capture doit prendre en compte une hauteur de personne de 2,5 m avec les distances de séparation nécessaires (voir également Figure E.3).

Si cela ne peut être réalisé, il convient que les personnes soient prévenues, qu'en cas d'orage, elles peuvent être exposées à un impact de foudre direct.

Pour des structures enterrées recouvertes d'une couche de terre supérieure à 0,5 m, des mesures de protection sont à l'étude. En l'absence de recherches effectives, il est recommandé d'utiliser les mêmes mesures que pour des couches de terre jusqu'à 0,5 m.

Pour les structures enterrées contenant des explosifs, un SPF complémentaire doit être requis. Ce SPF supplémentaire peut être isolé et installé sur la structure. Il convient que les réseaux de prises de terre des deux dispositifs de protection soient interconnectés.

E.5.2.5 Composants naturels

Sur les structures avec toitures en terrasse, le revêtement métallique du parapet du toit représente un composant naturel typique du réseau de dispositifs de capture d'un SPF. Un tel revêtement comprend des parties extrudées ou courbées en aluminium, acier galvanisé ou cuivre en forme de U protégeant la surface supérieure du parapet du toit contre les intempéries. L'épaisseur minimale donnée dans le Tableau 3 doit être utilisée pour ce type d'application.

Il convient de connecter les conducteurs de capture, les conducteurs installés sur la surface du toit et les conducteurs de descente au revêtement du parapet.

Il convient de prévoir un pontage conducteur aux bornes installées entre les sections de panneaux du parapet, sauf s'il existe une continuité correcte et fiable entre elles.

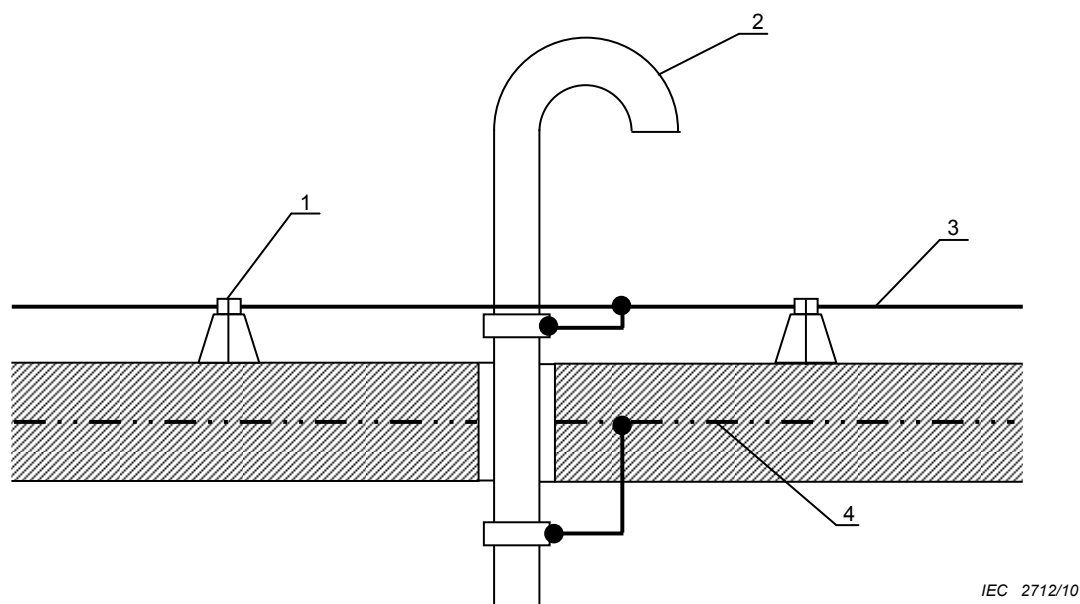
La Figure E.24 constitue un exemple de dispositif de capture utilisant le revêtement conducteur des parapets comme conducteur de capture naturel du SPF.

Les parties conductrices, telles que des réservoirs métalliques, canalisations métalliques et rails installés sur ou au-dessus de la surface d'une toiture, peuvent être considérées comme les composants naturels d'un dispositif de capture à condition que leur épaisseur de paroi soit conforme au Tableau 3.

Il convient que les cuves et canalisations contenant des gaz ou des liquides à haute pression ou des gaz et liquides inflammables ne soient pas utilisées comme dispositifs de capture naturels. Lorsque cela ne peut être évité, il convient de tenir compte des échauffements dus aux courants de foudre lors de la conception des canalisations.

Les parties conductrices au-dessus de la surface d'une toiture, telles que des réservoirs métalliques, sont souvent naturellement reliées aux équipements intérieurs de la structure. Il est nécessaire, afin d'empêcher le courant de foudre total de s'écouler à l'intérieur de la structure, de réaliser une bonne connexion entre ces composants naturels du SPF et le maillage de capture.

La Figure E.34 constitue un exemple présentant les détails de la connexion des fixations de toiture conductrices aux conducteurs de capture.



IEC 2712/10

Légende

- 1 fixation d'un conducteur de capture
- 2 canalisation métallique
- 3 conducteur de capture horizontal
- 4 armure d'acier dans le béton

NOTE 1 Il convient que la canalisation métallique soit conforme à 5.2.5 et au Tableau 6, que le conducteur d'équipotentialité soit conforme au Tableau 6 et l'armature conforme à 4.3. Il convient que l'équipotentialité de la toiture soit étanche.

NOTE 2 Dans ce cas particulier, l'équipotentialité est établie pour l'armature de la structure en béton armé.

Figure E.34 – Connexion d'une tige de capture naturelle au conducteur de capture

Il convient que les parties conductrices au-dessus de la surface d'une toiture telles que des réservoirs métalliques et des tiges de renfort en acier dans le béton, soient connectées au réseau de capture.

Lorsqu'un coup de foudre direct sur la partie conductrice de la toiture n'est pas acceptable, la partie conductrice doit être installée dans l'espace de protection d'un dispositif de capture.

Il convient de traiter les revêtements conducteurs de façades et les parties équivalentes des structures où le risque de feu est négligeable conformément à 5.2.5.

La Figure E.35 montre un exemple de pontage conducteur entre des panneaux de façades métalliques acceptables dans les applications où les panneaux doivent être utilisés comme conducteurs de descente naturels. Deux méthodes sont présentées: pontage par lien métallique souple et pontage par vis autoforeuses.

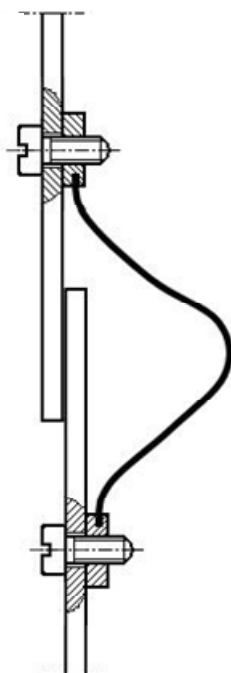
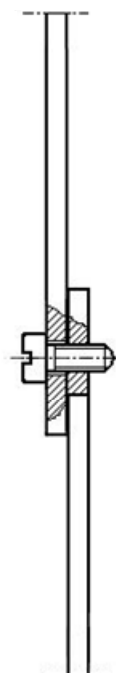


Figure E.35a – Pontage par lien métallique souple



IEC 2713/10

Figure E.35b – Pontage par vis autoforeuses

NOTE Un pontage électriquement conducteur améliore, en particulier, la protection contre l'IEMF. Des informations complémentaires concernant la protection contre l'IEMF sont fournies dans la EN 62305-4.

Figure E.35 – Réalisation du pontage entre les segments de panneaux de façade métalliques

E.5.2.6 Dispositif de capture isolé

Les mâts de capture adjacents aux structures ou matériels à protéger sont destinés à minimiser la possibilité de coups de foudre sur les structures dans leur zone de protection lorsqu'un SPF isolé est installé.

Lorsque plusieurs mâts sont installés, ils peuvent être interconnectés au moyen de conducteurs aériens et il convient que la proximité des installations avec le SPF soit conforme à 6.3.

Les conducteurs aériens entre les mâts accroissent le volume protégé et permettent également la répartition du courant de foudre entre plusieurs chemins de conducteurs de descente. La chute de tension dans le SPF et les perturbations électromagnétiques dans l'espace à protéger sont par conséquent inférieures à celles observées en l'absence de conducteurs aériens.

La force du champ électromagnétique dans la structure est réduite en raison de la distance plus élevée entre les installations dans la structure et le SPF. Un SPF isolé peut également être appliqué à une structure en béton armé, lequel améliore d'autant plus l'écran électromagnétique. Toutefois, pour des structures de grande hauteur, la réalisation d'un SPF isolé n'est pas pratique.

Les dispositifs de capture isolants constitués de fils tendus sur des supports isolants peuvent se révéler appropriés lorsque plusieurs fixations faisant saillie sur la surface de la toiture doivent être protégées. Il convient que l'isolation des supports soit appropriée à la tension calculée par rapport à la distance de séparation conformément à 6.3.

NOTE Les conditions d'environnement (pollution) peuvent réduire la rupture de tension de l'air; il convient de tenir compte de cet élément lors de la détermination de la séparation nécessaire entre le dispositif de capture isolé et la structure.



E.5.3 Conducteurs de descente

E.5.3.1 Généralités

Il convient que le choix du nombre et de la position des conducteurs de descente prenne en compte le fait que, si le courant de foudre se partage entre plusieurs conducteurs de descente, le risque d'impact latéral et de perturbations électromagnétiques dans la structure est réduit. Il s'ensuit que, dans toute la mesure du possible, il convient que les conducteurs de descente soient uniformément et symétriquement disposés le long du périmètre de la structure.

Le partage du courant est amélioré non seulement par l'augmentation du nombre de conducteurs de descente, mais également par les ceinturages d'interconnexion équipotentielle.

Il convient que les conducteurs de descente soient placés aussi loin que possible des circuits internes et des parties métalliques afin d'éviter de recourir à toute équipotentialité avec le SPF.

Il convient de rappeler que

- les conducteurs de descente sont aussi courts que possible (pour maintenir une inductance la plus faible possible),
- la distance typique entre les conducteurs de descente est indiquée dans le Tableau 4,
- la géométrie des conducteurs de descente et des ceinturages d'interconnexion équipotentielle a une influence sur la valeur de la distance de séparation (voir 6.3),
- pour des structures en encorbellement, il convient que la distance de séparation soit également évaluée en fonction du risque de décharge latérale sur les personnes (voir E.4.2.4.2).

S'il n'est pas possible de placer les conducteurs de descente sur un côté ou sur une partie d'un côté du bâtiment pour des contraintes pratiques ou architecturales, il convient que les conducteurs qui auraient dû être installés sur ce côté soient disposés comme conducteurs de compensation supplémentaires sur les autres côtés. Il convient que les distances entre ces conducteurs de descente ne soient pas inférieures à un tiers des distances indiquées dans le Tableau 4.

Une variation de l'espacement des conducteurs de $\pm 20\%$ est acceptable tant que l'espacement moyen est conforme au Tableau 4.

Dans des cours fermées avec plus de 30 m de périmètre, des conducteurs de descente doivent être installés. Les valeurs typiques de distance entre les conducteurs de descente sont données dans le Tableau 4.

E.5.3.2 Nombre de conducteurs de descente pour un SPF isolé

Pas d'informations complémentaires.

E.5.3.3 Nombre de conducteurs de descente pour un SPF non isolé

Comme indiqué en 5.3.3, il convient d'installer un conducteur de descente à chaque angle exposé de la structure, lorsque cela est possible. Il n'est toutefois pas nécessaire d'adjoindre un conducteur de descente à un angle exposé si la distance entre cet angle et les conducteurs de descente les plus proches satisfait aux conditions suivantes:

- la distance par rapport aux deux conducteurs de descente adjacents correspond à la moitié ou moins de la distance selon le Tableau 4, ou
- la distance par rapport à un conducteur de descente adjacent correspond au quart ou moins de la distance selon le Tableau 4.

Les angles intérieurs peuvent ne pas être pris en considération.

E.5.3.4 Mise en œuvre

E.5.3.4.1 Informations générales

Il convient que les conducteurs de descente extérieurs soient installés entre le dispositif de capture et le réseau de prises de terre. Lorsque des composants naturels existent, ils peuvent être utilisés comme conducteurs de descente.

Si la distance de séparation entre les conducteurs de descente et les installations intérieures, calculée sur la base de l'espacement entre les conducteurs de descente selon le Tableau 4, est trop élevée, il convient d'augmenter le nombre de conducteurs de descente afin de satisfaire à la distance de séparation requise.

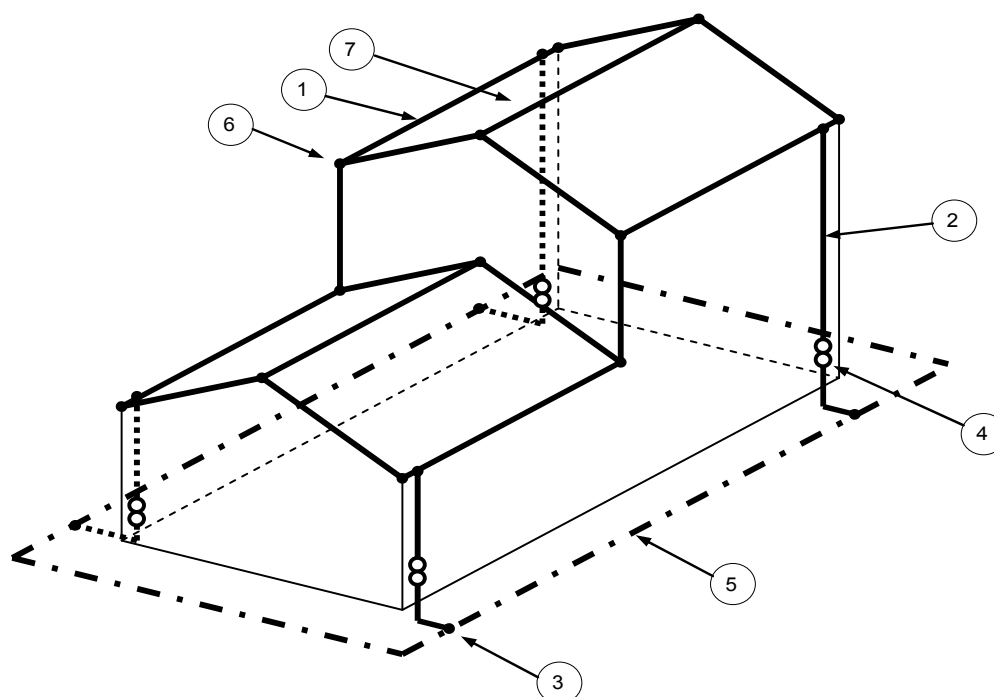
Il convient que les dispositifs de capture, les conducteurs de descente et les réseaux de prises de terre soient coordonnés de manière que le cheminement du courant de foudre soit le plus court possible.

Il convient que les conducteurs de descente soient de préférence reliés aux nœuds du réseau de capture et rejoignent verticalement les connexions du réseau de prises de terre.

S'il n'est pas possible de réaliser une connexion directe en raison de larges surplombs, etc., il convient de réaliser une connexion entre le dispositif de capture et le conducteur de descente par une liaison dédiée sans utiliser des composants naturels tels que des gouttières, etc.

Il est admis, lorsqu'il est nécessaire de tenir compte de l'aspect esthétique, d'appliquer une mince couche de peinture de protection ou un mince revêtement en PVC sur les conducteurs de descente extérieurs.

La Figure E.36 est un exemple de SPF extérieur pour une structure avec divers niveaux de toiture et la Figure E.25 est un exemple de SPF extérieur pour une structure de 60 m à toiture plate et avec fixations de toit.



IEC 2714/10

Légende

- 1 conducteur de capture horizontal
- 2 conducteur de descente
- 3 borne T - résistante à la corrosion
- 4 borne d'essai
- 5 disposition de terre de type B, prise de terre en boucle
- 6 borne T sur l'arête du toit
- 7 taille de maille

NOTE Il convient que la distance entre les conducteurs de descente soit conforme à 5.2, 5.3 et au Tableau 4.

Figure E.36 – Installation d'un SPF extérieur sur une structure en matériau isolant avec différents niveaux de toiture

Dans les structures sans parties conductrices importantes, le courant de foudre ne s'écoule que dans les conducteurs ordinaires du SPF. De ce fait, la géométrie des conducteurs de descente définit les champs électromagnétiques dans la structure (voir Figure E.37).

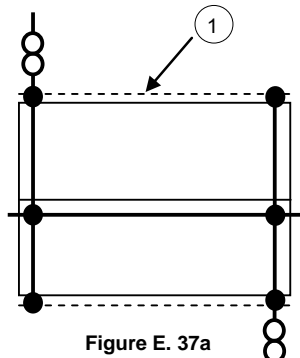


Figure E. 37a

IEC 2715/10

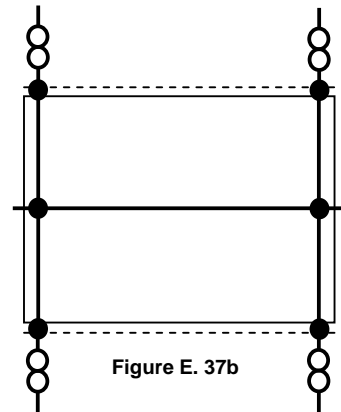


Figure E. 37b

IEC 2716/10

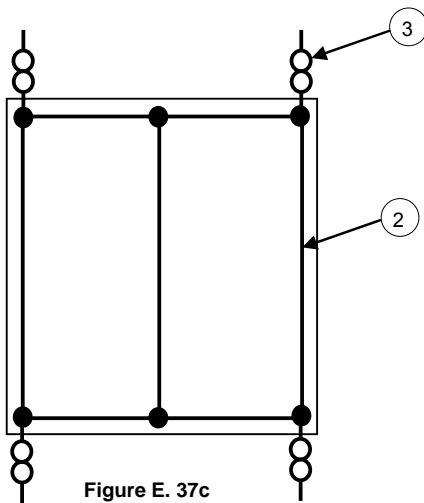


Figure E. 37c

IEC 2717/10

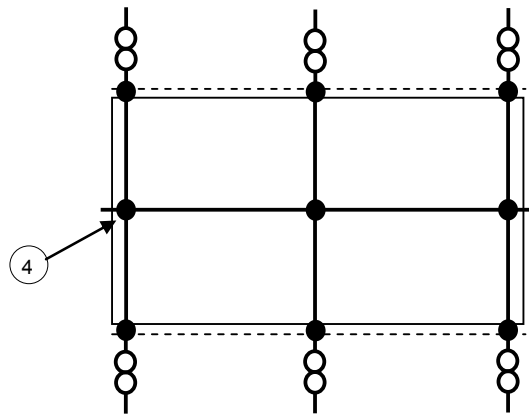


Figure E. 37d

IEC 2718/10

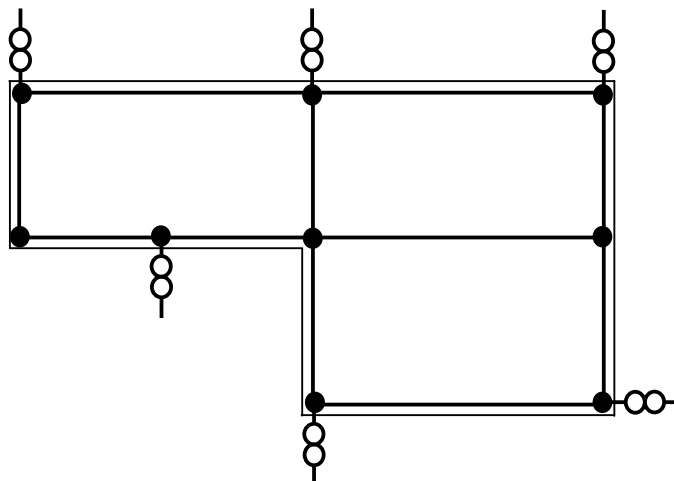


Figure E. 37e

IEC 2719/10

Légende

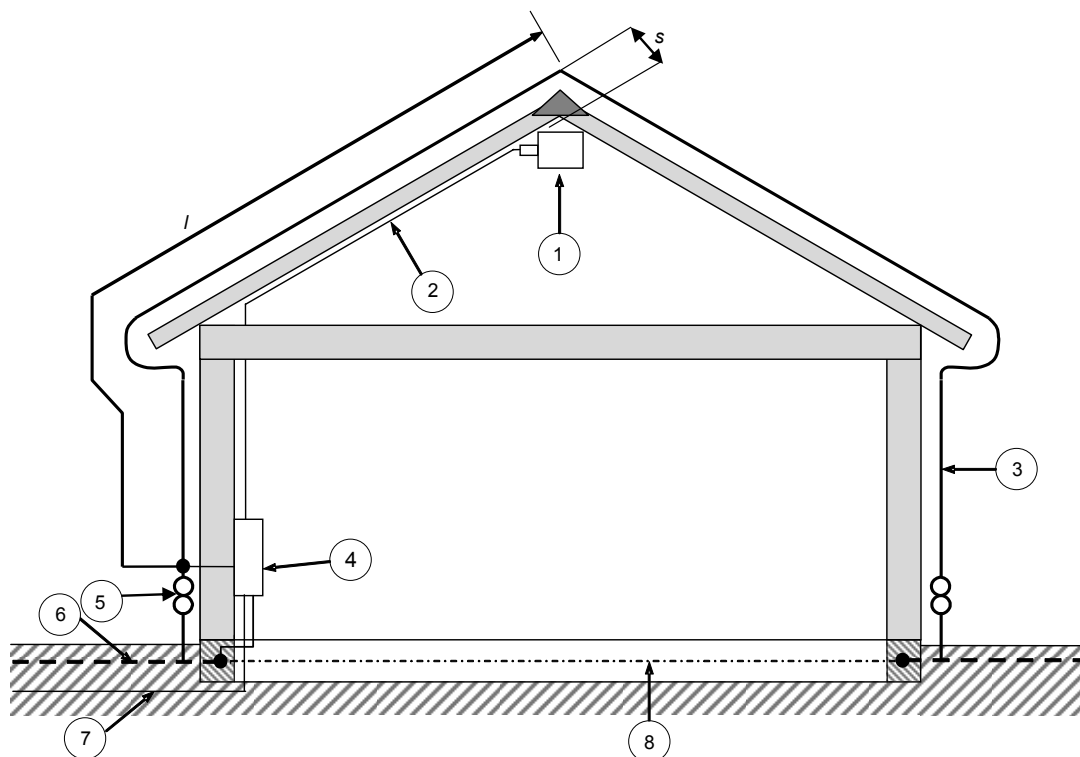
- 1 composants naturels du SPF, par exemple, gouttières
- 2 conducteurs du SPF
- 3 borne d'essai
- 4 borne

NOTE Il convient que la distance entre les conducteurs de descente et les mailles soit conforme au niveau de protection contre la foudre choisi selon les Tableaux 2 et 4.

Figure E.37 – Exemples de géométrie des conducteurs de SPF

Lorsque le nombre de conducteurs de descente est accru, la distance de séparation peut être diminuée en fonction du coefficient k_c (voir 6.3).

Selon 5.3.3, il convient d'utiliser au moins deux conducteurs de descente sur une structure.



IEC 2720/10

Légende

- 1 matériel électrique
- 2 conducteurs électriques
- 3 conducteurs du SPF
- 4 tableau de distribution principal avec parafoudres
- 5 borne d'essai
- 6 réseau de prises de terre
- 7 câble de puissance électrique
- 8 prise de terre à fond de fouille
- s distance de séparation selon 6.3
- l longueur pour l'évaluation de la distance de sécurité s

NOTE L'exemple illustre les problèmes causés par l'installation électrique ou d'autres installations conductrices dans les combles d'un bâtiment.

Figure E.38 – Installation d'un SPF avec uniquement deux conducteurs de descente et prises de terre à fond de fouille

Dans les structures importantes, telles que les immeubles d'habitation de grande hauteur et, en particulier, les structures industrielles et administratives, souvent conçues en ossature métallique ou acier et béton ou en béton armé, les composants conducteurs peuvent être utilisés comme conducteurs de descente naturels.

L'impédance totale du SPF pour de telles structures est assez faible et constitue une protection très efficace contre la foudre des installations intérieures. Il est particulièrement avantageux d'utiliser les parois conductrices comme conducteurs de descente. Ces parois peuvent être en béton armé, métalliques ou en panneaux préfabriqués en béton, à condition qu'elles soient interconnectées selon 5.3.5.

La Figure E.4 donne une description détaillée de l'installation appropriée d'un SPF utilisant les composants naturels de ce dernier tels que les armures interconnectées.

L'utilisation de composants naturels constitués de structures en acier réduit la chute de tension entre le dispositif de capture et le réseau de prises de terre, ainsi que les perturbations électromagnétiques dues au courant de foudre dans la structure.

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

Si le dispositif de capture est isolé par rapport aux colonnes internes, aucun courant ne s'écoule dans les colonnes de la structure, à condition que l'isolation ne présente pas de défaut. Si l'isolation présente un défaut non prévu, un courant partiel plus important peut s'écouler dans une ou plusieurs colonnes. La raideur du courant peut augmenter en raison de la durée virtuelle réduite de la forme d'onde due au défaut et les matériels environnants subissent une influence plus importante que celle qui existerait en cas d'équipotentialité contrôlée entre les colonnes et le SPF de la structure.

La Figure E.10 est un exemple de mise en œuvre de conducteurs de descente intérieurs dans une structure en béton armé de grande dimension utilisée à des fins industrielles. L'environnement électromagnétique à proximité des colonnes internes doit être considéré lors de la conception du SPF intérieur.

E.5.3.4.2 Conducteurs de descente non isolés

Dans les structures avec de nombreuses parties conductrices sur les parois extérieures, il convient de connecter les conducteurs de capture et le réseau de prises de terre aux parties conductrices de la structure en plusieurs points. Cela réduit la distance de séparation selon 6.3.

Suite à ces connexions, les parties conductrices d'une structure sont utilisées comme conducteurs de descente et également comme barres d'équipotentialité.

Dans des structures importantes plates (typiquement établissements industriels, halls d'exposition, etc.) dont les dimensions dépassent quatre fois l'espacement entre les conducteurs de descente, il convient d'installer des conducteurs de descente intérieurs supplémentaires si possible tous les 40 m environ, et ce, pour réduire au minimum la distance de séparation lorsque le courant de foudre s'écoule sur de longues distances sur une toiture en terrasse.

Il convient que toutes les colonnes intérieures et toutes les cloisons internes avec parties conductrices soient connectées au dispositif de capture et au réseau de prises de terre aux points appropriés.

La Figure E.10 donne un exemple de SPF pour une structure étendue avec des colonnes internes en béton armé. Afin d'éviter tout étincelage dangereux entre les différentes parties conductrices de la structure, l'armature des colonnes est reliée au dispositif de capture et au réseau de prises de terre. Ainsi, une partie du courant de foudre s'écoule dans ces conducteurs de descente intérieurs. Toutefois, le courant de foudre se divise entre plusieurs conducteurs de descente et présente approximativement la même forme d'onde que le courant de choc. La raideur du front d'onde est toutefois réduite. Si les interconnexions ne sont pas réalisées et qu'un amorçage apparaît, seuls un ou quelques conducteurs de descente intérieurs peuvent écouler le courant.

La forme d'onde du courant d'amorçage est considérablement plus raide que le courant de foudre, et, ainsi la tension induite dans les boucles de circuit proches est considérablement augmentée.

Pour de telles structures, avant de commencer leur conception, il convient tout particulièrement d'harmoniser les conceptions de la structure et du SPF afin que les parties conductrices puissent être utilisées pour la protection contre la foudre. Une conception parfaitement coordonnée permet d'obtenir un SPF extrêmement efficace à un coût minimal.

Il convient de concevoir la protection contre la foudre de l'espace et des personnes situés sous un étage supérieur suspendu, tel qu'un étage supérieur en encorbellement, selon 4.2.4.2 et la Figure E.3.

L'encastrement direct des conducteurs de descente dans le plâtre extérieur n'est pas recommandé car le plâtre peut être endommagé par expansion thermique. De plus, il peut se décolorer par réaction chimique. Le plâtre est surtout endommagé par l'élévation de température et les contraintes mécaniques dues au courant de foudre; les conducteurs gainés en PVC préviennent la décoloration.

E.5.3.5 Composants naturels

L'utilisation de conducteurs de descente naturels pour augmenter le nombre total de conducteurs de courant parallèles est recommandée dans la mesure où cela réduit la chute de tension dans les conducteurs et réduit les perturbations électromagnétiques dans la structure. Cependant, il convient de s'assurer que ces conducteurs de descente sont électriquement continus tout au long du chemin entre le dispositif de capture et le réseau de prises de terre.

Il convient d'utiliser l'armature d'acier dans les murs en béton comme composant naturel du SPF, tel qu'illustré à la Figure E.27.

Il convient que les armatures en acier de structures nouvelles soient spécifiées conformément à E.4.3. Si la continuité électrique des conducteurs de descente naturels ne peut être garantie, il convient d'installer des conducteurs de descente conventionnels.

Une gouttière métallique satisfaisant aux conditions de conducteurs de descente naturels selon 5.3.5 peut être utilisée comme conducteur de descente.

Les Figures E.22a, E.22b et E.22c montrent des exemples de fixation des conducteurs sur la toiture et des conducteurs de descente avec leurs dimensions géométriques appropriées. Les Figures E.22c et E.22d montrent les connexions du conducteur de descente à la gouttière métallique, aux gouttières conductrices et au conducteur de terre.

Les tiges de renfort des parois ou les colonnes en béton et les ossatures en acier peuvent être utilisées comme conducteurs de descente naturels.

Une façade métallique ou un revêtement de façade d'une structure peut être utilisé comme conducteur de descente naturel selon 5.3.5.

La Figure E.8 montre l'installation d'un réseau de conducteurs de descente naturels utilisant les éléments métalliques des façades et les armatures d'acier des murs en béton comme plan de référence d'équipotentialité auquel sont reliées les barres d'équipotentialité du SPF intérieur.

Il convient que les connexions soient prévues en haut du revêtement du mur pour le dispositif de capture et en bas pour le réseau de prises de terre et les tiges de renfort des murs en béton, le cas échéant.

La distribution du courant dans de telles façades métalliques est meilleure que dans les murs en béton armé. Les façades métalliques comprennent des panneaux individuels généralement de section trapézoïdale, de largeur comprise entre 0,6 m et 1,0 m et de longueur correspondant à la hauteur de la structure. Dans le cas de structures élevées, la longueur des panneaux ne correspond pas à la hauteur de la structure en raison de problèmes de transport. L'ensemble de la façade comprend alors de nombreux panneaux montés les uns au-dessus des autres.

Pour une façade métallique, il convient de calculer l'expansion thermique maximale comme la différence de longueur entre une température maximale de la façade métallique au soleil environ +80 °C et une température minimale de –20 °C.

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

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

Les connexions métalliques, telles que décrites à la Figure E.35, favorisent une distribution uniforme du courant dans les façades métalliques et réduisent ainsi l'influence du champ électromagnétique à l'intérieur de la structure.

Une façade métallique constitue un blindage électromagnétique maximal lorsqu'elle est interconnectée électriquement sur toute sa surface.

Une efficacité CEM élevée d'une structure est obtenue lorsqu'une équipotentialité permanente des façades métalliques adjacentes est effectuée à des intervalles suffisamment faibles.

La symétrie de distribution du courant est proportionnelle au nombre de connexions.

Si des exigences strictes spécifient une atténuation du blindage et si un bandeau continu de baies est intégré à ce type de façade, il convient de ponter ce dernier au moyen de conducteurs à intervalles rapprochés. Cela peut être réalisé par les encadrements métalliques des baies. Il convient que la façade métallique soit connectée à l'encadrement à intervalles rapprochés. En général, chaque arête est reliée à la poutre horizontale de l'encadrement à des intervalles ne dépassant pas l'espacement des éléments verticaux des baies. Il convient de toujours éviter les courbures et les détours (voir Figure E.9).

Les façades métalliques constituées d'éléments relativement petits non interconnectés ne peuvent être utilisées comme réseau de conducteurs de descente naturels ou comme écran électromagnétique.

Pour des informations complémentaires sur la protection des installations électriques et des matériels électroniques dans les structures, voir la EN 62305-4.

E.5.3.6 Borne d'essai

Les bornes d'essai facilitent les mesures de résistance du réseau de prises de terre.

Il convient d'installer les bornes d'essai conformes à 5.3.6 au niveau de la connexion entre les conducteurs de descente et le réseau de prises de terre. Ces bornes permettent de vérifier, par mesure, l'existence d'un nombre approprié de connexions au réseau de prises de terre. Il est donc possible de confirmer l'existence de connexions continues entre la borne d'essai et le dispositif de capture ou la barre d'équipotentialité la plus proche. Sur des structures élevées, les conducteurs de ceinturage sont connectés aux conducteurs de descente pouvant être installés dans la paroi et sont invisibles à l'œil nu; leur existence peut être confirmée uniquement par mesure électrique.

Les Figures E.39a à E.39d montrent des exemples de bornes d'essai pouvant être installées sur la paroi intérieure ou extérieure d'une structure, ou dans une boîte d'essai enterrée dans le sol en dehors de la structure (voir Figure E.39b). Pour rendre possibles les mesures de continuité, certains conducteurs peuvent devoir comporter des gaines isolantes sur les sections critiques.

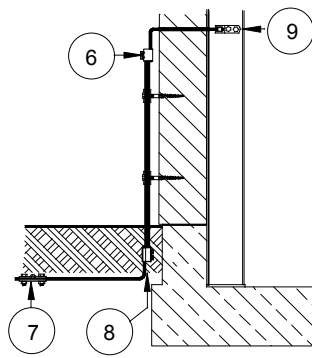


Figure E.39a

IEC 2721/10

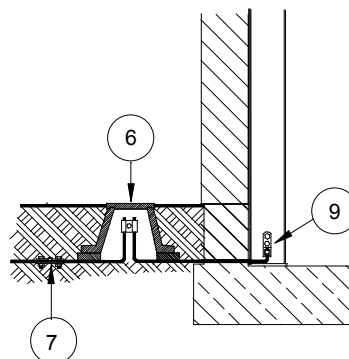


Figure E.39b

IEC 2722/10

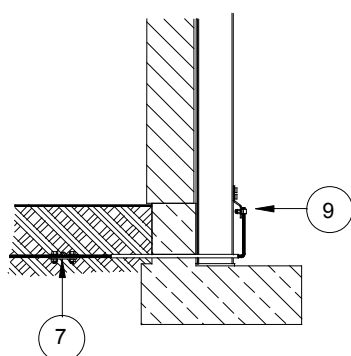


Figure E.39c

IEC 2723/10

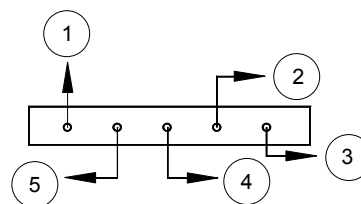


Figure E.39d

IEC 2724/10

Variante 1 – Borne d'essai sur le mur

- 1 conducteur de descente
- 2 électrode de terre de type B, si applicable
- 3 électrode de terre de type A, si applicable
- 4 prise de terre à fond de fouille
- 5 équipotentialité du SPF intérieur
- 6 borne d'essai sur le mur
- 7 borne T anticorrosive dans le sol
- 8 borne anticorrosive dans le sol
- 9 connexion entre conducteur de foudre et poutre en acier

Variante 2 – Borne d'essai sur le plancher

- 1 conducteur de descente
- 2 électrode de terre de type A, si applicable
- 3 barre d'équipotentialité du SPF intérieur
- 4 prise de terre en boucle de type B
- 5 prise de terre en boucle de type B
- 6 borne d'essai sur le plancher
- 7 borne T anticorrosive dans le sol
- 8 borne anticorrosive dans le sol
- 9 connexion entre conducteur de foudre et poutre en acier

NOTE 1 Il convient que la borne d'essai détaillée à la Figure E.39d soit installée sur une paroi intérieure ou extérieure d'une structure ou dans une boîte d'essai enterrée dans le sol en dehors de la structure.

NOTE 2 Pour rendre possibles les mesures de la prise de terre, il convient que certains conducteurs de connexion comportent des gaines isolantes sur les sections critiques.

Figure E.39 – Quatre exemples de connexion du réseau de prises de terre au SPF de structures utilisant des conducteurs de descente naturels (poutres) et détail d'une borne d'essai

Si cela se révèle approprié (par exemple, dans le cas de connexions de masse aux colonnes en acier par des conducteurs de connexion), les connexions des conducteurs de descente naturels aux prises de terre peuvent comporter des segments conducteurs isolés et des bornes d'essai. Il convient d'installer des prises de terre de référence spéciales pour faciliter la vérification du réseau de prises de terre d'un SPF.

E.5.4 Réseau de prises de terre

E.5.4.1 Généralités

Il convient que le concepteur et l'installateur du SPF choisissent des types de prises de terre appropriés et les situent à des distances sûres des entrées et sorties d'une structure et des parties conductrices extérieures dans le sol, telles que des câbles, conduits métalliques, etc. il convient que le concepteur et l'installateur du SPF prévoient des mesures spéciales de protection contre les tensions de pas dangereuses à proximité des réseaux de prises de terre s'ils sont installés dans des zones accessibles au public (voir l'Article 8).

La valeur recommandée de 10Ω de la résistance de terre globale est relativement prudente dans les structures avec équipotentialité directe. Il convient que la valeur de la résistance soit la plus faible possible dans tous les cas, mais tout particulièrement dans le cas de structures mises en danger par des matériaux explosifs. L'équipotentialité demeure dans ce cas également la mesure la plus importante.

Il convient que la profondeur d'engagement et le type des prises de terre permettent de réduire au minimum les effets de la corrosion, de l'assèchement du sol et du gel et ainsi stabilisent la résistance de terre équivalente.

Il est recommandé que les cinquante premiers centimètres d'une prise de terre verticale ne soient pas considérés comme fiables dans des conditions de gel.

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

Lorsque l'armature métallique du béton est utilisée comme prise de terre, il convient d'accorder une attention toute particulière aux interconnexions pour éviter un éclatement mécanique du béton.

Si l'armature métallique est également utilisée comme borne de protection, il convient de choisir la mesure la plus stricte en termes d'épaisseur des tiges et de connexion. Dans ce cas, des dimensions plus élevées des barres de renforcement peuvent être choisies. Il convient de reconnaître le besoin de disposer à tout moment de connexions courtes et directes pour la connexion de la protection contre la foudre.

NOTE Dans le cas du béton précontraint, il convient de tenir tout particulièrement compte des conséquences du passage de courants de décharge de foudre, susceptibles d'engendrer des contraintes mécaniques inacceptables.

E.5.4.2 Types de dispositions de prises de terre

E.5.4.2.1 Disposition de type A

Le réseau de prises de terre de type A est approprié pour des structures de petite hauteur (par exemple, maisons individuelles), des structures existantes, un SPF avec tiges ou fils tendus ou un SPF isolé.

Ce type de disposition comprend des prises de terre horizontales ou verticales connectées à chaque conducteur de descente.

Lorsqu'il existe un conducteur de ceinturage, qui interconnecte les conducteurs de descente, en contact avec le sol, la disposition de prise de terre est toujours classée comme disposition de type A si moins de 80 % de la longueur du conducteur de ceinturage sont en contact avec le sol.

Dans une disposition de type A, il convient que le nombre minimal de prises de terre soit de un pour chaque conducteur de descente et au moins de deux pour l'ensemble du SPF.

E.5.4.2.2 Disposition de type B

Le réseau de prises de terre de type B est préférable pour les dispositifs de capture à mailles et pour les SPF avec plusieurs conducteurs de descente.

Ce type de disposition comprend soit une prise de terre en boucle extérieure à la structure en contact avec le sol sur une longueur équivalant au moins à 80 % de sa longueur totale, soit une prise de terre à fond de fouille.

Pour des sols rocaillieux, seule la disposition de prises de terre de type B est recommandée.

E.5.4.3 Mise en œuvre

E.5.4.3.1 Généralités

Il convient que les réseaux de prises de terre réalisent les tâches suivantes:

- écoulement du courant de foudre à la terre;
- équipotentialité entre les conducteurs de descente;
- contrôle de la tension au voisinage des parois conductrices.

Les prises de terre à fond de fouille et les prises de terre en boucle de type B satisfont à toutes ces exigences. Les prises de terre radiales de type A ou les prises de terre verticales profondément enterrées ne satisfont pas à ces exigences eu égard à l'équipotentialité et au contrôle de la tension.

Il convient que les fondations en béton armé interconnectées d'une structure soient utilisées comme prises de terre à fond de fouille. Elles présentent une résistance de terre très faible et réalisent une excellente référence d'équipotentialité. Lorsque cela n'est pas possible, il convient d'installer autour de la structure un réseau de prises de terre, de préférence une prise de terre en boucle de type B.

E.5.4.3.2 Prises de terre à fond de fouille

Une prise de terre à fond de fouille, conforme à 5.4.4, comporte des conducteurs installés dans la fondation de la structure sous la surface du sol. Il convient que la longueur des prises de terre complémentaires soit déterminée en utilisant le diagramme de la Figure 3.

Les prises de terre à fond de fouille sont incorporées dans le béton. Elles présentent l'avantage d'être bien protégées contre la corrosion si le béton est correct et recouvre la prise de terre à fond de fouille d'une couche d'au moins 50 mm. Il convient également de rappeler que les tiges de renfort en acier dans le béton génèrent la même amplitude de potentiel galvanique que des conducteurs en cuivre enterrés. Cela offre une bonne solution technique pour la conception des réseaux de prises de terre pour les structures en béton armé (voir E.4.3).

Il convient que les métaux utilisés pour les prises de terre soient conformes aux matériaux énumérés dans le Tableau 7, tout comme il convient de toujours tenir compte de la tenue des métaux à la corrosion dans le sol. Des indications sont données en 5.6. En l'absence d'indications pour des sols particuliers, il convient de déterminer l'expérience acquise avec les réseaux de prises de terre dans les installations voisines, le sol présentant des

caractéristiques chimiques et une consistance analogues. Lorsque les tranchées des prises de terre sont comblées, il convient de s'assurer que ni cendres, ni morceaux de charbon, ni matériaux de démolition ne viennent en contact direct avec la prise de terre.

Un autre problème apparaît en raison de la corrosion électrochimique due à des courants galvaniques. L'acier dans le béton présente approximativement le même potentiel galvanique dans la série électrochimique que le cuivre dans le sol. Par conséquent, lorsque l'acier dans le béton est connecté à de l'acier dans le sol, une tension galvanique de commande d'environ 1 V entraîne l'écoulement d'un courant de corrosion dans le sol et le béton humide, et provoque la dissolution de l'acier dans le sol.

Il convient que les prises de terre dans le sol utilisent des conducteurs en cuivre ou en acier inoxydable lorsqu'elles sont connectées à de l'acier dans du béton.

Il convient, au périmètre d'une structure, d'installer un conducteur métallique conforme au Tableau 7, ou un ruban d'acier galvanisé dans la fondation et de le lever à l'aide des connexions des extrémités désignées des bornes d'essai de protection contre la foudre.

Le cheminement ascendant des conducteurs connectés aux conducteurs de descente peut être réalisé dans le briquetage, le plâtre ou le mur. Les connexions en acier installées dans le mur peuvent traverser le papier saturé d'asphalte normalement en place entre la fondation et la cloison en briques. Le percement de la barrière d'étanchéité en ce point ne présente généralement aucun problème.

La couche étanche à l'eau, souvent disposée sous la fondation de la structure pour réduire l'humidité dans les sous-sols, fournit une isolation électrique cohérente. Il convient que la prise de terre soit installée sous la fondation dans la sous-couche de béton. Il convient de conclure un accord avec le concepteur du réseau de prises de terre.

Lorsque le niveau de l'eau souterraine est élevé, il convient d'isoler la fondation de la structure des eaux souterraines. Il convient d'appliquer une couche d'étanchéité sur la surface extérieure de la fondation, qui assure également une isolation électrique. La pratique habituelle dans la construction de ce type de fondation étanche à l'eau consiste à verser une couche de béton propre, sur une profondeur de 10 cm à 15 cm environ, dans la tranchée sur laquelle est installée l'isolation, puis ultérieurement la fondation en béton.

Une prise de terre à fond de fouille constituée d'un réseau de mailles dont la taille ne dépasse pas 10 m doit être installée dans la couche de béton propre au fond de la tranchée sur laquelle repose la fondation.

Un conducteur conforme au Tableau 7, doit connecter le réseau de prises de terre maillé avec l'armature de la fondation, les prises de terre en boucle et les conducteurs de descente extérieurs à la membrane d'étanchéité. Lorsque cela est admis, des presse-étoupe peuvent être utilisés pour pénétrer la barrière isolante.

Lorsque la pénétration du conducteur dans la couche isolante n'est pas admise par le constructeur du bâtiment, il convient que les connexions soient réalisées avec le réseau de prises de terre à l'extérieur de la structure.

La Figure E.40 montre trois exemples différents de méthode d'installation des prises de terre à fond de fouille sur une structure avec des fondations étanches.

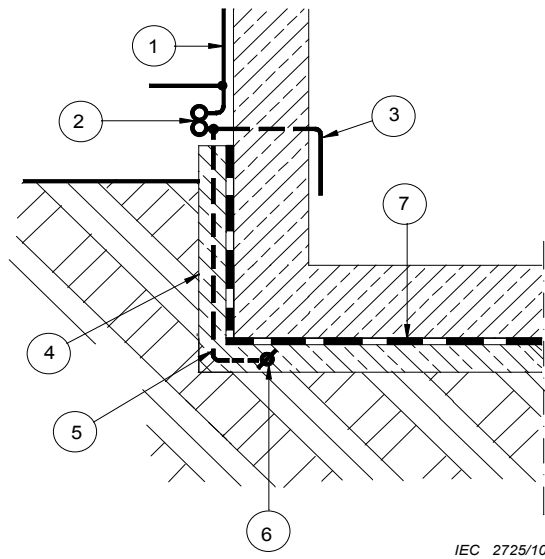


Figure E.40a – Fondation isolée avec prise de terre à fond de fouille dans une couche en béton non armé sous l'isolation bitumée

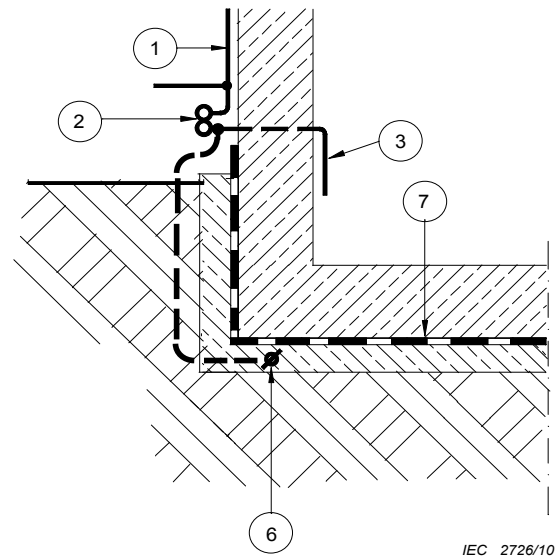


Figure E.40b – Fondation isolée avec conducteur de terre partiellement dans le sol

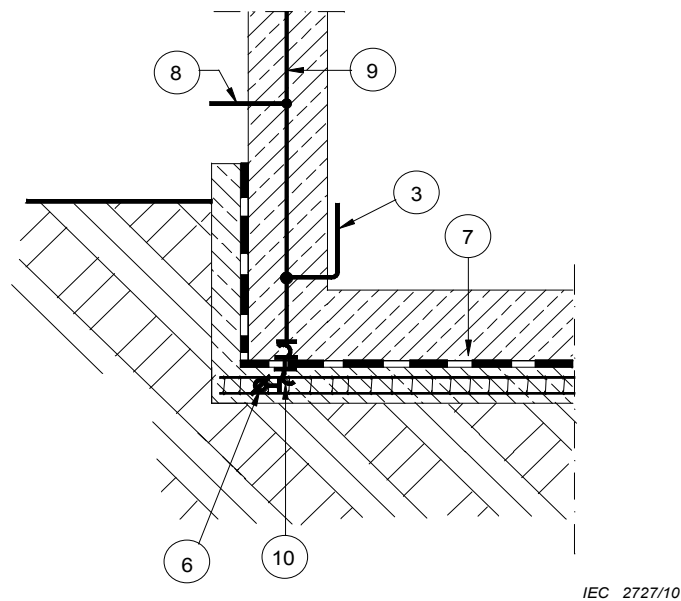


Figure E.40c – Connexion entre la prise de terre à fond de fouille et l'armature d'acier traversant la membrane d'étanchéité

Légende

- 1 conducteur de descente
- 2 borne d'essai
- 3 conducteur d'équipotentialité au SPF intérieur
- 4 couche de béton non armé
- 5 conducteur de connexion du SPF
- 6 prise de terre à fond de fouille
- 7 membrane d'étanchéité, couche isolante étanche
- 8 conducteur de connexion entre l'armature d'acier et la borne d'essai
- 9 armature d'acier dans le béton
- 10 traversée de la membrane d'étanchéité par le presse-étoupe (étanche)

NOTE Une autorisation du constructeur de la structure est nécessaire.

Figure E.40 – Réalisation d'une prise de terre à fond de fouille pour les structures à différentes conceptions de fondation

Plusieurs solutions de connexions appropriées du réseau de prises de terre sur les structures avec une fondation isolée sont également illustrées.

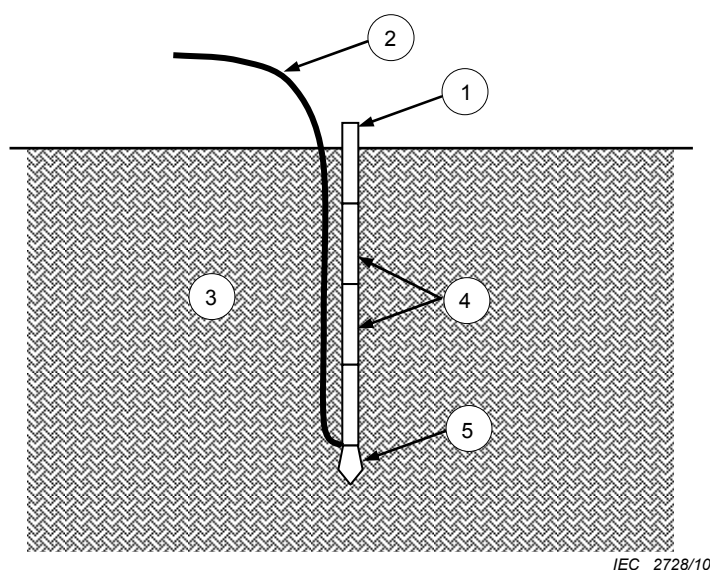
Les Figures E.40a et E.40b montrent les connexions extérieures à l'isolation de manière à ne pas l'endommager; la Figure E.40c montre la traversée de l'isolation par un presse-étoupe de manière à ne pas compromettre l'intégrité de la membrane d'étanchéité.

E.5.4.3.3 Type A – Prises de terre radiales et verticales

Il convient que les prises de terre radiales soient connectées aux extrémités inférieures des conducteurs de descente à l'aide de bornes d'essai. Ces prises de terre peuvent se terminer par des prises de terre verticales, le cas échéant.

Il convient que chaque conducteur de descente comporte une prise de terre.

La Figure E.41 montre des exemples de prises de terre de type A, tandis que la Figure E.41a illustre la méthode utilisée pour enfoncer un conducteur de protection contre la foudre, conforme au Tableau 7, dans le sol à l'aide de tiges de commande spéciales. Cette technique de mise à la terre présente des avantages pratiques et évite l'utilisation de fixations et de connexions dans le sol. Des prises de terre en pente ou verticales sont généralement enfoncées à l'aide de masses.



IEC 2728/10

Légende

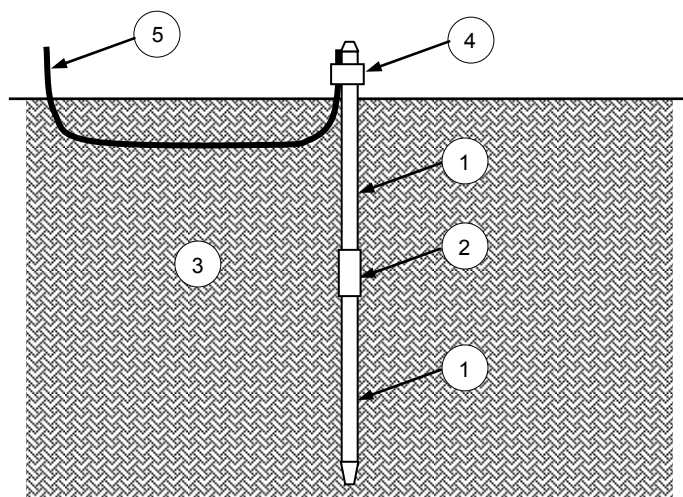
- 1 tige de commande supérieure courte
- 2 conducteur de terre
- 3 sol
- 4 tiges de commande courtes
- 5 pointe de commande en acier

NOTE 1 Un conducteur continu est enfoncé dans le sol au moyen de tiges de commande courtes. La continuité électrique du conducteur de terre est très avantageuse; grâce à cette technique, aucune borne n'existe sur le conducteur de terre. Les segments de tiges de commande courtes sont également faciles à manipuler.

NOTE 2 La tige de commande supérieure courte peut être retirée.

NOTE 3 La partie supérieure du conducteur de terre peut être gainée.

Figure E.41a – Exemple de disposition de terre de type A, avec prise de terre à conducteur vertical



IEC 2729/10

Légende

- 1 piquet de terre extensible
- 2 tige de couplage
- 3 sol
- 4 serrage du conducteur à la tige
- 5 conducteur de terre

Figure E.41b – Exemple de disposition de terre de type A avec prise de terre à tige verticale

Figure E.41 – Exemples de deux prises de terre verticales avec disposition de terre de type A

Il existe également d'autres types de prises de terre verticales. Il est nécessaire de s'assurer de la continuité permanente avec le sol sur toute la longueur de la prise de terre au cours de la durée de vie utile du SPF.

Lors de l'installation, il est recommandé de mesurer régulièrement la résistance de la prise de terre. L'enfoncement peut être interrompu dès que la résistance de terre cesse de diminuer. Des prises de terre complémentaires peuvent alors être installées dans des emplacements plus appropriés.

Il convient que la prise de terre présente une distance de séparation suffisante avec les câbles et canalisations métalliques enterrés existants, et il convient d'observer cette règle pour l'écartement de la prise de terre par rapport à sa position prévue lors de l'enfoncement. La distance de séparation dépend du choc électrique, de la résistivité du sol et du courant dans la prise de terre.

Dans une disposition de type A, les prises de terre verticales sont plus rentables et donnent des valeurs de résistance de terre plus stables dans la plupart des sols par rapport à des prises de terre horizontales.

Dans certains cas, il peut être nécessaire d'installer les prises de terre à l'intérieur de la structure, par exemple, dans un sous-sol ou une cave.

NOTE Il convient d'accorder une attention toute particulière au contrôle des tensions de pas par l'adoption de mesures d'équipotentialité selon l'Article 8.

S'il existe un risque d'accroissement de la résistance de terre de la couche superficielle (par exemple, par assèchement), il est souvent nécessaire d'utiliser des prises de terre de plus grande longueur enterrées profondément.

Il convient que les prises de terre radiales soient installées à une profondeur de 0,5 m ou plus. Une prise de terre enfoncée plus profondément permet de s'assurer que dans les pays à température hivernale basse, la prise de terre n'est pas située dans le sol gelé (ce qui induit une conductivité extrêmement faible). Un avantage supplémentaire réside dans le fait que des prises de terre enfoncées plus profondément permettent de réduire les différences de potentiel à la surface du sol, et de diminuer ainsi les tensions de pas afin de réduire le danger pour les êtres vivants à la surface de la terre. Les prises de terre verticales sont préférables pour obtenir une résistance de terre à stabilité saisonnière.

Lorsque la disposition de terre de type A est prévue, l'équipotentialité nécessaire pour toutes les prises de terre est réalisée au moyen de conducteurs et de barres d'équipotentialité.

E.5.4.3.4 Type B – Prises de terre en boucle

Pour des structures en matériau isolant tel que la brique ou le bois sans fondation armée, il convient d'installer une disposition de terre de type B conformément à 5.4.2.2. Une disposition de type A intégrant des conducteurs d'équipotentialité peut également être utilisée. Afin de réduire la résistance équivalente de terre, la disposition de terre de type B peut être améliorée, si nécessaire, par l'ajout de prises de terre verticales ou radiales conformément à 5.4.2.2. La Figure 3 donne les exigences concernant la longueur minimale de prises de terre.

La distance et la profondeur pour une prise de terre de type B, tel qu'indiqué en 5.4.3, sont optimales en sol normal pour la protection des personnes au voisinage de la structure. Dans des pays avec des températures hivernales basses, il convient de tenir compte de la profondeur appropriée des prises de terre.

Les prises de terre de type B réalisent également la fonction d'équipotentialité entre les conducteurs de descente au niveau du sol, dans la mesure où les divers conducteurs de descente produisent des potentiels différents en raison de la distribution inégale des courants de foudre dus aux variations de la résistance de terre et des différentes longueurs des cheminements du courant des conducteurs en surface. Les différences de potentiel se traduisent en un écoulement de courants d'équipotentialité dans la prise de terre en boucle, de sorte que l'élévation de potentiel maximale soit réduite et que les réseaux d'équipotentialité qui y sont connectés dans la structure soient portés environ au même potentiel.

Lorsque des structures appartenant à des propriétaires différents sont adjacentes, il n'est souvent pas possible d'installer une prise de terre en boucle qui entoure totalement la structure. Dans ce cas, l'efficacité du réseau de prises de terre est quelque peu réduite, dans la mesure où le ceinturage du conducteur joue partiellement le rôle d'une prise de terre de type B, d'une prise de terre à fond de fouille et d'un conducteur d'équipotentialité.

Lorsqu'un grand nombre de personnes se rassemble fréquemment dans une zone adjacente à la structure à protéger, il convient de prévoir un contrôle supplémentaire du potentiel pour ce type de zones. Il convient d'installer un plus grand nombre de prises de terre en boucle à des distances d'environ 3 m du premier conducteur de ceinturage et des conducteurs suivants. Il convient d'installer les prises de terre en boucle éloignées de la structure à une plus grande profondeur, c'est-à-dire que celles qui sont situées à 4 m de la structure doivent être enterrées à 1 m, celles qui sont éloignées de 7 m à une profondeur de 1,5 m et celles à une distance de 10 m à une profondeur de 2 m. Il convient que ces prises de terre en boucle soient connectées au premier conducteur de ceinturage par des conducteurs radiaux.

Lorsque la zone adjacente à la structure est recouverte d'une couche d'asphalte de faible conductibilité d'une épaisseur de 50 mm, une protection suffisante est assurée pour les personnes circulant dans cette zone.

E.5.4.3.5 Prises de terre dans un sol rocailleux

Lors d'une construction, il convient d'incorporer une prise de terre à fond de fouille dans la fondation en béton. Même lorsqu'une prise de terre à fond de fouille a un effet de terre réduit dans un sol rocailleux, elle intervient toujours comme conducteur d'équipotentialité.

Il convient de connecter des prises de terre complémentaires aux conducteurs de descente et aux prises de terre de fond de fouille au niveau des bornes d'essai.

En l'absence d'une prise de terre à fond de fouille, il convient d'utiliser une disposition de type B (prise de terre en boucle). Si la prise de terre ne peut être installée dans le sol et doit être posée en surface, il convient de la protéger contre les chocs mécaniques.

Il convient que les prises de terre radiales installées sur ou à proximité de la surface soient recouvertes de pierres ou encastrées dans du béton pour leur protection mécanique.

Lorsqu'une route passe à proximité de la structure, il convient d'installer si possible une prise de terre en boucle sous la route. Toutefois, lorsque cela n'est pas possible sur toute la longueur de la portion de route exposée, il convient que ce contrôle d'équipotentialité (typiquement une disposition de type A) soit assuré au moins au voisinage des conducteurs de descente.

Pour le contrôle du potentiel dans certains cas particuliers, il convient de prendre une décision concernant l'installation d'une boucle complémentaire partielle au voisinage de l'entrée de la structure, ou l'augmentation artificielle de la résistivité de la couche de surface du sol.

E.5.4.3.6 Réseaux de prises de terre dans des zones étendues

Une implantation industrielle comporte typiquement de nombreuses structures associées, entre lesquelles circulent de nombreux câbles de puissance et de signal.

Les réseaux de prises de terre de telles structures sont très importants pour la protection du réseau de puissance. Un réseau de prises de terre à faible impédance réduit la différence de potentiel entre les structures et réduit de ce fait les perturbations subies par les liaisons électriques.

Une faible impédance de terre peut être obtenue en équipant la structure de prises de terre à fond de fouille et de dispositions de terre de type B et de type A supplémentaires conformément à 5.4.

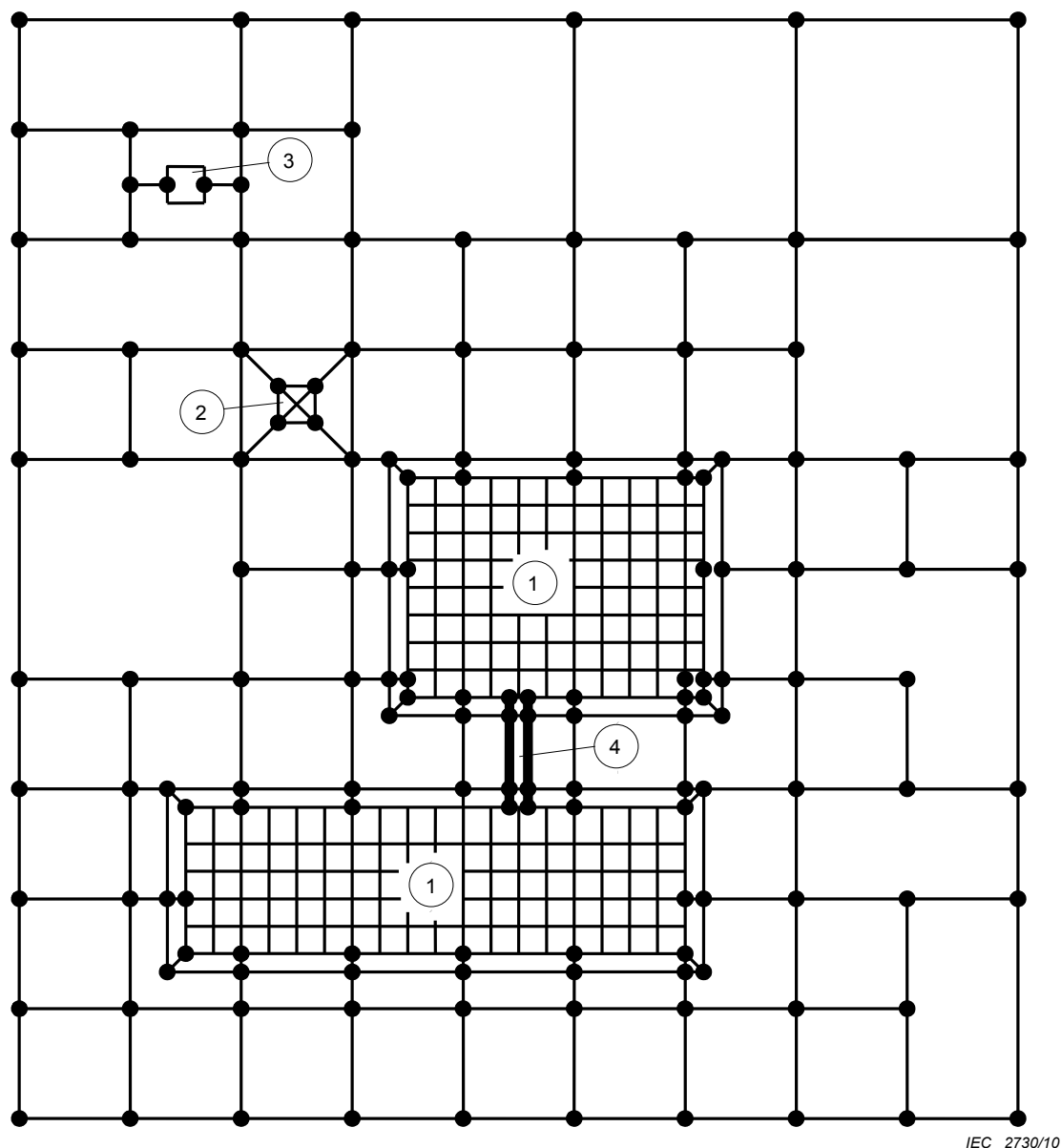
Il convient de réaliser les interconnexions entre les prises de terre, les prises de terre à fond de fouille et les conducteurs de descente au niveau des bornes d'essai. Il convient également de connecter quelques bornes d'essai aux barres d'équipotentialité du SPF intérieur.

Il convient que les conducteurs de descente intérieurs, ou les parties internes de la structure utilisées comme conducteurs de descente, soient connectés à la prise de terre et à l'armature d'acier du sol pour éviter les tensions de contact et de pas. Si les conducteurs de descente intérieurs sont situés à proximité des joints thermiques d'expansion dans le béton, il convient de ponter ces bornes aussi près que possible du conducteur de descente intérieur.

Il convient que la partie inférieure d'un conducteur de descente accessible soit gainée de PVC d'épaisseur au moins égale à 3 mm ou équivalent.

Afin de réduire la probabilité d'impacts de foudre directs sur les chemins de câbles dans le sol, il convient d'installer un conducteur de terre et, dans le cas de chemins de câbles de plus grande dimension, plusieurs conducteurs de terre au-dessus des chemins de câbles.

L'interconnexion des terres de diverses structures permet d'obtenir un réseau de prises de terre maillé tel qu'indiqué à la Figure E.42.



IEC 2730/10

Légende

- 1 bâtiment avec réseau maillé de l'armature
- 2 tour dans l'installation
- 3 matériel autonome
- 4 tranchées de câbles

NOTE Ce réseau donne une impédance faible entre les bâtiments et présente des avantages significatifs en matière de CEM. La taille des mailles à proximité des bâtiments et des autres objets peut être de l'ordre de 20 m × 20 m. Au-delà d'une distance de 30 m, la taille peut être élargie à un ordre de 40 m × 40 m.

Figure E.42 – Réseau de prises de terre maillé d'une implantation

La Figure E.42 illustre un réseau de prises de terre maillé, y compris les tranchées de câbles, entre les structures associées de bâtiments protégés contre la foudre. Cela entraîne une impédance faible entre les bâtiments et présente des avantages significatifs en matière de protection contre l'IEMF.

E.5.5 Composants

Il convient que les composants d'un SPF résistent aux effets électromagnétiques du courant de foudre et aux contraintes accidentelles prévisibles sans être endommagés. Ceci peut être réalisé en choisissant des composants ayant été soumis aux essais avec succès, conformément à la série EN 50164.

Tous les composants doivent être conformes à la série EN 50164.

NOTE Les distances entre les fixations sont données dans le Tableau E.1.

E.5.6 Matériaux et dimensions

E.5.6.1 Conception mécanique

Le concepteur du système de protection contre la foudre doit consulter les personnes responsables de la structure sur les questions relatives à la conception mécanique suite à la réalisation de la conception électrique.

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

Les dimensions minimales des composants de protection contre la foudre des différentes parties du SPF sont données dans les Tableaux 3, 6, 7, 8 et 9.

Les matériaux utilisés pour les composants du SPF sont donnés dans le Tableau 5.

NOTE Les composants tels que les fixations et les tiges choisis conformément à la future série EN 50164 sont adéquats.

Il convient que le concepteur et l'installateur du SPF vérifient l'aptitude à l'emploi des matériaux utilisés. Cela peut être réalisé, par exemple, en exigeant du fabricant qu'il fournisse des certificats d'essai et des rapports, démontrant que les matériaux ont subi avec succès les essais de qualité conformément à la série EN 50164.

Il convient que le concepteur et l'installateur du SPF spécifient des attaches et des fixations de conducteurs qui résistent aux forces électrodynamiques du courant de foudre s'écoulant dans les conducteurs et permettent également la dilatation et la contraction des conducteurs dues à l'élévation de température correspondante.

Il convient que les connexions entre les couvertures des panneaux métalliques soient compatibles avec le matériau des panneaux, présentent une surface de contact minimale de 50 mm² et soient capables de résister aux forces électrodynamiques d'un courant de foudre et aux menaces de corrosion de l'environnement.

Lorsqu'une élévation de température excessive constitue une source de préoccupation pour la surface sur laquelle les composants doivent être fixés du fait de leur inflammabilité ou de leur point de fusion bas, il convient que des sections plus élevées de conducteurs soient spécifiées ou que d'autres dispositions de sécurité soient prises en considération, telles que l'utilisation de fixations à montage vertical et l'insertion de couches résistantes au feu.

Il convient que le concepteur du SPF identifie toutes les zones à problème de corrosion et spécifie les mesures appropriées à prendre.

Les effets de la corrosion sur le SPF peuvent être réduits soit par l'augmentation des dimensions des matériaux, soit par l'utilisation de composants résistant à la corrosion ou par l'adoption d'autres méthodes anticorrosives.



E.5.6.2 Choix des matériaux

E.5.6.2.1 Matériaux

Les matériaux constitutifs du SPF et leurs conditions d'utilisation sont indiqués au Tableau 5 et dans la série EN 50164.

Les dimensions des conducteurs du SPF, y compris les conducteurs de capture, de descente et de terre, pour différents matériaux tels que le cuivre, l'aluminium et l'acier, sont données dans les Tableaux 6 et 7. Les valeurs recommandées pour le cuivre et l'aluminium d'une section arrondie de 50 mm² sont basées sur les exigences mécaniques (par exemple, maintenir les fils tendus entre les supports de sorte qu'ils ne fléchissent pas vers la toiture). Si les contraintes mécaniques ne constituent pas une source de préoccupation, les valeurs données à la note b) de bas de Tableau 6 (cuivre de 28 mm²) peuvent servir de valeurs minimales.

L'épaisseur minimale des revêtements métalliques, des canalisations métalliques et des conteneurs utilisés comme composants de capture naturels est indiquée au Tableau 3 et les dimensions minimales des conducteurs d'équipotentialité sont indiquées aux Tableaux 8 et 9.

E.5.6.2.2 Protection contre la corrosion

Il convient que le SPF soit construit avec des matériaux résistant à la corrosion tels que le cuivre, l'aluminium, l'acier inoxydable et l'acier galvanisé. Il convient que le matériau des tiges et des fils de capture soit électrochimiquement compatible avec le matériau des éléments de connexion et de montage, et qu'il ait une bonne résistance à la corrosion en réaction à une atmosphère corrosive ou à l'humidité.

Il convient d'éviter les connexions entre différents matériaux; à défaut, elles doivent être protégées.

Il convient de ne jamais installer d'éléments en cuivre au-dessus d'éléments galvanisés ou en aluminium à moins que ces éléments comportent une protection contre la corrosion.

Des particules très fines sont issues du cuivre entraînant des dommages corrosifs importants sur les éléments en acier galvanisé même lorsque les éléments en cuivre et en acier galvanisé ne sont pas en contact direct.

Il convient que les conducteurs en aluminium ne soient pas directement fixés sur des surfaces de construction en calcaire comme la chaux et le plâtre et ne soient jamais utilisés dans le sol.

E.5.6.2.2.1 Métaux dans le sol et dans l'air

La vitesse de la corrosion des métaux dépend du type de métal et de la nature de son environnement. Les facteurs environnementaux tels que l'humidité, les sels solubles (formant ainsi un électrolyte), le degré d'aération, la température et l'évolution de l'électrolyte contribuent à rendre cette condition très complexe.

De plus, les conditions locales alliées aux différents contaminants naturels ou industriels, peuvent entraîner de grandes variations visibles dans différentes régions du monde. Pour résoudre les problèmes particuliers de corrosion, la consultation d'experts en la matière est fortement recommandée.

L'effet de contact entre des matériaux non similaires, associé à un électrolyte environnant, ou partiellement environnant, entraîne un accroissement de la corrosion du métal le plus anodique et une diminution de la corrosion du métal le plus cathodique.

La corrosion du métal le plus cathodique n'est pas nécessairement complètement empêchée. L'électrolyte de cette réaction peut être l'eau dans le sol, la terre humide ou même une condensation des structures retenue dans des fissures dans des structures au-dessus du sol.

Des réseaux de prises de terre étendus peuvent être soumis à des conditions de sol différentes en différents points. Cela peut accélérer les problèmes de corrosion et nécessite une attention particulière.

Pour réduire la corrosion d'un SPF:

- éviter l'utilisation de métaux non appropriés dans un environnement agressif;
- éviter le contact avec des métaux non similaires, ayant une activité électrochimique ou galvanique très différente;
- utiliser une section adéquate de conducteurs, des brides d'équipotentialité, des bornes conductrices et des fixations pour assurer une résistance suffisante à la corrosion dans les conditions de service;
- prévoir un matériau de remplissage ou isolant approprié dans les bornes de conducteurs non soudées pour éviter l'humidité;
- prévoir une gaine ou un revêtement, ou isoler les métaux sensibles aux fumées ou fluides corrosifs à l'emplacement de l'installation;
- tenir compte des effets galvaniques des autres éléments métalliques auxquels la prise de terre doit être reliée;
- éviter les constructions dans lesquelles les produits de corrosion naturelle constitués d'un métal cathodique (par exemple, cuivre) peuvent être en contact avec le SPF et l'éroder, tels que le cuivre métallique recouvrant un métal anodique (par exemple, acier ou aluminium).

Pour satisfaire aux conditions ci-dessus, les mesures de prévention suivantes sont données comme exemples spécifiques:

- il convient que l'épaisseur minimale ou le diamètre d'un élément conducteur soit de 1,7 mm pour l'acier, l'aluminium, le cuivre, les alliages cuivreux ou les alliages nickel/chrome/acier;
- un séparateur d'isolement est recommandé lorsque le contact entre des métaux non similaires peu espacés (ou se touchant) peut entraîner une corrosion, ce contact n'étant toutefois pas électriquement nécessaire;
- il convient que les conducteurs en acier non protégés par ailleurs soient galvanisés à chaud conformément aux exigences des Tableaux 6 et 7;
- il convient que les conducteurs en aluminium ne soient pas directement enterrés dans le sol ou coulés ou encastrés dans le béton, à moins qu'ils ne soient entièrement gainés d'un manchon isolant ajusté;
- il convient d'éviter, dans toute la mesure du possible, les jonctions cuivre/aluminium. Dans les cas où ces jonctions ne peuvent être évitées, il convient qu'elles soient soudées ou réalisées en utilisant une couche intermédiaire de feuille en cuivre/aluminium;
- il convient que les fixations ou les gaines des conducteurs en aluminium soient réalisées en métal similaire et avec une section adéquate de manière à éviter toute défaillance due à des conditions climatiques défavorables;
- le cuivre convient à la plupart des applications de prises de terre, sauf dans des conditions acides, ammoniacales ou sulfureuses avec présence d'oxygène. Il convient toutefois de rappeler qu'il occasionne des dommages galvaniques aux matériaux ferreux qui lui sont connectés. Cela peut nécessiter la consultation d'un expert en matière de corrosion, notamment lors de l'utilisation d'un système de protection cathodique;
- il convient, pour les conducteurs de toiture et de descente soumis à des gaz de combustion agressifs, d'accorder une attention toute particulière à la corrosion, par exemple, en utilisant des aciers fortement alliés (>16,5 % Cr, >2 % Mo, 0,2 % Ti, 0,12 % à 0,22 % N);

- l'acier inoxydable ou les autres alliages de nickel peuvent être utilisés pour les mêmes exigences de résistance à la corrosion. Toutefois, dans des conditions anaérobiques, comme dans l'argile, ils se corrodent presque aussi rapidement que l'acier doux;
- Il convient que les jonctions entre l'acier et le cuivre ou les alliages de cuivre dans l'air soient, si elles ne sont pas soudées, entièrement étamées ou revêtues d'une couche durable résistant à l'humidité;
- le cuivre et ses alliages sont soumis à la fissuration par corrosion sous contrainte dans des fumées ammoniacales; il convient de ne pas utiliser ces matériaux pour les fixations dans ces applications spécifiques;
- dans les zones marines/côtières, il convient que toutes les connexions soient soudées ou rendues complètement étanches.

Les réseaux de prises de terre en acier inoxydable ou en cuivre peuvent être directement connectés aux armatures d'acier dans le béton.

Il convient de connecter des prises de terre en acier galvanisé dans le sol aux armatures d'acier dans le béton par des éclateurs d'isolement capables d'écouler une partie importante du courant de foudre (voir Tableaux 8 et 9 pour les dimensions des conducteurs de connexion). Une connexion directe, dans le sol augmenterait de manière significative le risque de corrosion. Il convient que les éclateurs d'isolement utilisés soient conformes à 6.2.

NOTE Des éclateurs d'isolement comportant un niveau de protection U_p de 2,5 kV et une valeur minimale I_{imp} de 50 kA (10/350 μ s) conformes à la EN 50164-3 sont appropriés.

Il convient d'utiliser de l'acier galvanisé pour les prises de terre dans le sol uniquement lorsqu'aucun élément en acier incorporé dans le béton n'est directement connecté à la prise de terre dans le sol.

Si des canalisations métalliques sont enfouies dans le sol et reliées au réseau d'équipotentialité et au réseau de prises de terre, il convient que le matériau des canalisations, lorsque celles-ci ne sont pas isolées, et le matériau des conducteurs du réseau de prises de terre soient identiques. Les canalisations avec un revêtement protecteur de peinture ou d'asphalte sont considérées comme non isolées. Lorsque le même matériau ne peut être utilisé, il convient d'isoler les canalisations des sections d'installations connectées au réseau d'équipotentialité au moyen de sections isolées. Il convient que les sections isolées soient pontées au moyen d'éclateurs. Il convient que le pontage par des éclateurs soit également réalisé lorsque des pièces isolées sont installées pour la protection cathodique des canalisations.

Il convient que les conducteurs avec gaines de plomb ne soient pas directement installés dans le béton. Il convient que les conducteurs avec gaines de plomb soient protégés contre la corrosion par la disposition de liaisons anticorrosives ou au moyen d'un manchonnage fretté. Les conducteurs peuvent être protégés par un revêtement en PVC ou en PE.

Il convient que les conducteurs de terre en acier venant du béton ou du sol au point d'entrée dans l'air soient protégés contre la corrosion sur une longueur de 0,3 m par des gaines anticorrosion ou un manchonnage fretté. Cela n'est pas nécessaire pour les conducteurs en cuivre ou en acier inoxydable.

Il convient que les matériaux utilisés pour les bornes entre les conducteurs dans le sol présentent la même tenue à la corrosion que les conducteurs de terre. La connexion par vissage n'est généralement pas admise sauf dans le cas où ce type de connexion comprend une disposition de protection contre la corrosion après réalisation de la connexion. Une bonne expérience a été acquise avec des joints manchonnés.

Les joints soudés doivent être protégés contre la corrosion.

L'expérience pratique montre que

- il convient de ne jamais utiliser l'aluminium comme prise de terre,
- les conducteurs en acier avec gaines de plomb ne sont pas appropriés comme conducteurs de terre,
- il convient de ne pas utiliser les conducteurs en cuivre avec gaines de plomb dans le béton, ni dans des sols à teneur en calcium élevée.

E.5.6.2.2 Métaux dans le béton

L'encastrement de l'acier ou de l'acier galvanisé dans le béton provoque une stabilisation du potentiel naturel du métal, en raison de l'environnement uniformément alcalin. De plus, le béton présente une résistivité uniforme, relativement élevée, de l'ordre de 200 Ωm ou plus.

Ainsi, les barres de renforcement dans le béton sont beaucoup plus résistantes à la corrosion que lorsqu'elles sont exposées, même si elles sont reliées extérieurement à des matériaux d'électrodes plus cathodiques.

L'utilisation d'acier de renfort comme conducteurs de descente ne pose aucun problème de corrosion significatif à condition que les points d'accès aux dispositifs de capture soient parfaitement étanches, par exemple, par un mastic de résine époxyde d'épaisseur appropriée.

Des bandes en acier galvanisé, utilisées comme prises de terre à fond de fouille, peuvent être incorporées dans le béton et être directement connectées aux tiges de renfort en acier. Le cuivre et l'acier inoxydable dans le béton sont également acceptés et peuvent être directement connectés aux armatures d'acier.

En raison du potentiel naturel de l'acier dans le béton, il convient que les prises de terre complémentaires en dehors du béton soient constituées de cuivre ou d'acier inoxydable.

Dans le béton renforcé par des fibres en acier, s'il n'est pas possible d'assurer un enrobage de béton d'une épaisseur d'au moins 50 mm au-dessus des électrodes de terre, l'utilisation de prises de terre en acier n'est pas admise dans la mesure où, lors de la construction, la prise de terre en acier peut être tassée, par exemple, par les machines employées, et entrer en contact avec le sol. Dans ce cas, l'acier est soumis à un risque grave de corrosion. Le cuivre et l'acier inoxydable constituent des matériaux appropriés pour les prises de terre dans le béton renforcé par des fibres en acier.

E.6 Installation intérieure de protection contre la foudre

E.6.1 Généralités

Les exigences pour la conception de l'installation intérieure de protection contre la foudre sont données à l'Article 6.

L'installation extérieure de protection contre la foudre et sa relation avec les parties conductrices et les installations à l'intérieur de la structure déterminent, dans une large mesure, la nécessité d'une installation intérieure de protection contre la foudre.

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

Il convient que le concepteur et l'installateur d'un SPF attirent l'attention sur le fait que les mesures indiquées dans l'Article E.6 sont très importantes afin de réaliser une protection contre la foudre appropriée. Il convient que l'acheteur en soit informé en conséquence.

L'installation intérieure de protection contre la foudre est identique pour tous les niveaux de protection à l'exception des distances de séparation.

Les mesures nécessaires à l'installation intérieure de protection contre la foudre vont au-delà des mesures d'équipotentialité pour les réseaux de puissance alternatifs dans de nombreux cas, en raison de la valeur élevée du courant et du temps de montée de ce dernier dans le cas d'un coup de foudre.

NOTE S'il y a lieu de prendre en considération la protection contre l'IEMF, il convient de tenir compte de la EN 62305-4.

E.6.2 Liaison équipotentielle de foudre (EB)

E.6.2.1 Conception

Dans le cas d'un SPF extérieur isolé, l'équipotentialité est réalisée uniquement au niveau du sol.

Dans le cas de structures industrielles, les parties conductrices à continuité électrique de la structure et de la toiture peuvent généralement être utilisées comme composants naturels du SPF et peuvent être employées pour la réalisation de l'équipotentialité.

Il convient de connecter à l'équipotentialité non seulement les parties conductrices de la structure et les matériels situés à l'intérieur, mais également les conducteurs du réseau d'alimentation et du matériel de communication. Pour les prises de terre installées à l'intérieur de la structure, il convient d'accorder une attention toute particulière au contrôle des tensions de pas. Des mesures appropriées incluent la connexion locale des armatures d'acier aux prises de terre ou la disposition d'un réseau maillé d'équipotentialité dans la cave ou le sous-sol.

Pour des bâtiments de hauteur supérieure à 30 m, il est recommandé de répéter l'équipotentialité à un niveau de 20 m, puis tous les 20 m au-delà de ce niveau. Les exigences de séparation sont généralement satisfaites.

Cela signifie qu'il convient au moins de mettre à la terre les conducteurs de descente intérieurs et extérieurs et les parties métalliques à ces niveaux. Il convient de mettre les conducteurs actifs à la terre par l'intermédiaire de parafoudres.

E.6.2.1.1 Conducteurs d'équipotentialité

Il convient que les conducteurs d'équipotentialité soient capables de supporter la partie du courant de foudre qui s'écoule entre eux.

Les conducteurs qui permettent de relier les installations métalliques internes à la structure ne supportent normalement pas une partie importante du courant de foudre. Leurs dimensions minimales sont indiquées au Tableau 9.

Les conducteurs qui permettent de relier les parties conductrices extérieures au SPF supportent habituellement une partie importante du courant de foudre. Leurs dimensions minimales sont indiquées au Tableau 8.

E.6.2.1.2 Parafoudres

Il convient que les parafoudres supportent la partie du courant de foudre susceptible de les traverser sans dommage. Il convient qu'un parafoudre soit également capable d'éteindre les courants de suite électriques de l'alimentation s'ils sont connectés aux conducteurs de puissance.

Le choix d'un parafoudre doit être conforme à 6.2. Lorsque la protection des réseaux internes contre l'IEMF est requise, les parafoudres doivent également être conformes à la EN 62305-4.

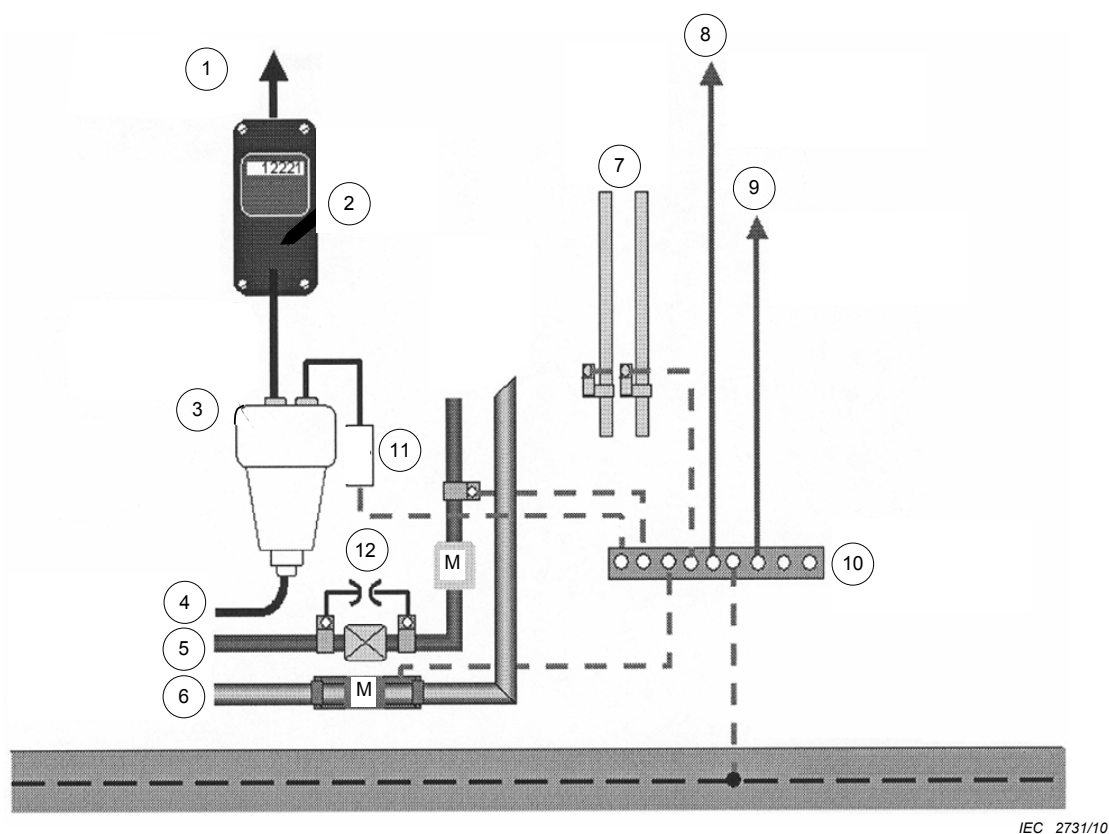
E.6.2.2 Equipotentialité des parties conductrices intérieures

Il convient de prévoir et d'installer une équipotentialité de sorte que les parties conductrices intérieures et extérieures, ainsi que les réseaux de puissance et de communication (par exemple, ordinateurs et systèmes de sécurité), puissent être reliés par des conducteurs d'équipotentialité courts. Il convient de relier directement les parties conductrices intérieures et extérieures n'ayant pas de fonction électrique. Il convient de relier toutes les connexions électriques (puissance et communication) au moyen de parafoudres.

Les installations métalliques, c'est-à-dire les canalisations d'eau et de gaz, conduits de chauffage et d'air, gaines d'ascenseur, supports de grues, etc., doivent être reliées entre elles et au SPF au niveau du sol.

Des étincelles peuvent apparaître sur les parties métalliques n'appartenant pas à la structure si ces parties se situent à proximité des conducteurs de descente du SPF. Lorsque cela est considéré comme dangereux, il convient d'appliquer des mesures d'équipotentialité appropriées conformes à 6.2 afin de prévenir le risque d'étincelles.

Une disposition de barre d'équipotentialité est présentée à la Figure E.43.



Légende

- 1 alimentation d'utilisation
- 2 compteur
- 3 boîte de connexion domestique
- 4 réseau public de puissance
- 5 gaz
- 6 eau
- 7 installation de chauffage central
- 8 appareils électroniques
- 9 écran du câble d'antenne
- 10 barre d'équipotentialité
- 11 parafoudre
- 12 éclateur d'isolement
- M compteur

Figure E.43 – Exemple de disposition d'équipotentialité

Il convient que les barres d'équipotentialité soient situées de sorte qu'elles soient connectées au réseau de prises de terre ou aux conducteurs de ceinturage horizontaux au moyen de conducteurs courts.

Il est préférable d'installer la barre d'équipotentialité sur la paroi interne d'un mur extérieur, proche du sol et du tableau général de distribution et de la relier rigidement au réseau de prises de terre comprenant la prise de terre en boucle, la prise de terre à fond de fouille et la prise de terre naturelle telle que les armatures d'acier interconnectées, le cas échéant.

Dans des bâtiments étendus, plusieurs barres d'équipotentialité peuvent être utilisées à condition qu'elles soient interconnectées. Les connexions très longues peuvent former de grandes boucles qui engendrent des courants et des tensions induits élevés. Pour réduire ces effets au minimum, il convient de prendre en considération une interconnexion maillée de ces connexions, de la structure et du réseau de prises de terre conformément à la EN 62305-4.

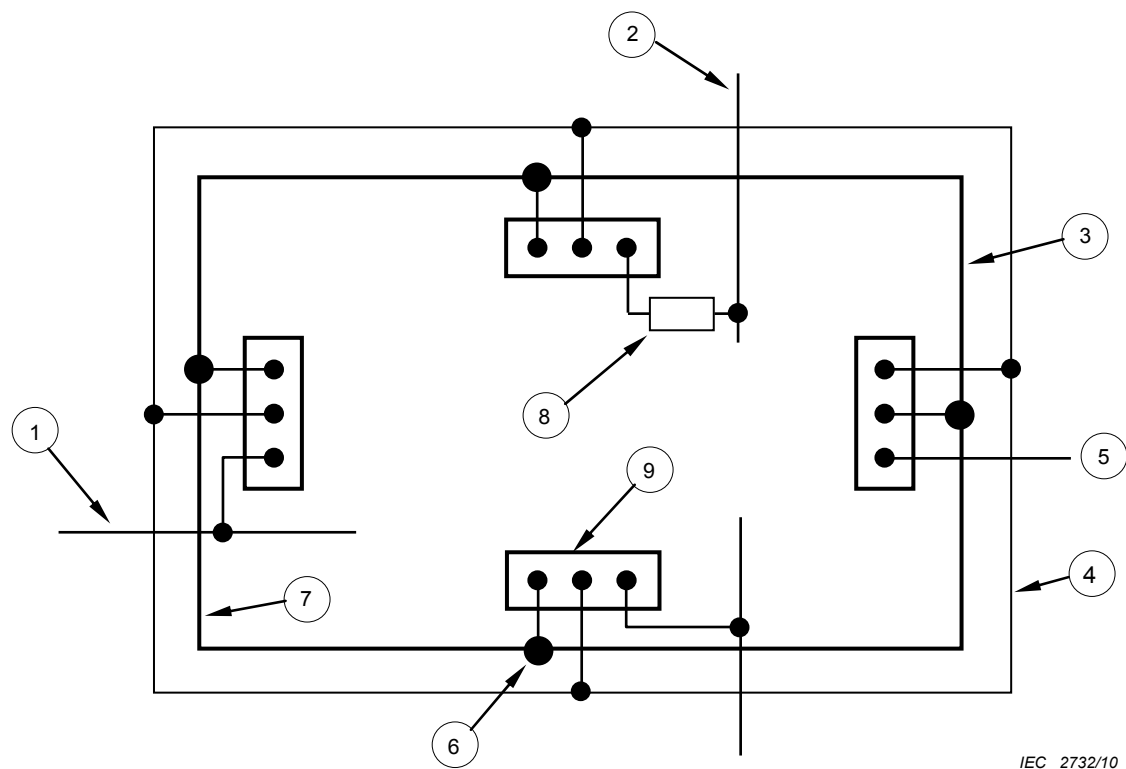
Dans les structures en béton armé conformes à 4.3, l'armature peut être utilisée pour l'équipotentialité. Dans ce cas, il convient d'incorporer dans les parois un réseau maillé complémentaire de bornes terminales soudées ou boulonnées, décrit en E.4.3, auquel il convient de connecter les barres d'équipotentialité par l'intermédiaire des conducteurs soudés.

NOTE Dans ce cas, il n'est pas nécessaire de maintenir une distance de séparation.

Les sections minimales d'un conducteur ou d'un connecteur d'équipotentialité sont indiquées dans les Tableaux 8 et 9. Il convient que toutes les parties conductrices intérieures de dimensions significatives, telles que rails d'ascenseurs, grues, planchers métalliques, canalisations et services électriques, soient connectées à la barre d'équipotentialité la plus proche par un conducteur d'équipotentialité court au niveau du sol et à d'autres niveaux si la distance de séparation conforme à 6.3 ne peut être maintenue. Il convient que les barres d'équipotentialité et autres parties analogues résistent aux courants de foudre présumés.

Dans les structures à parois renforcées, seule une petite fraction du courant de foudre total est sensée écouler dans les parties d'équipotentialité.

Les Figures E.44, E.45 et E.46 illustrent les dispositions d'équipotentialité dans des structures avec des entrées multiples de services extérieurs.

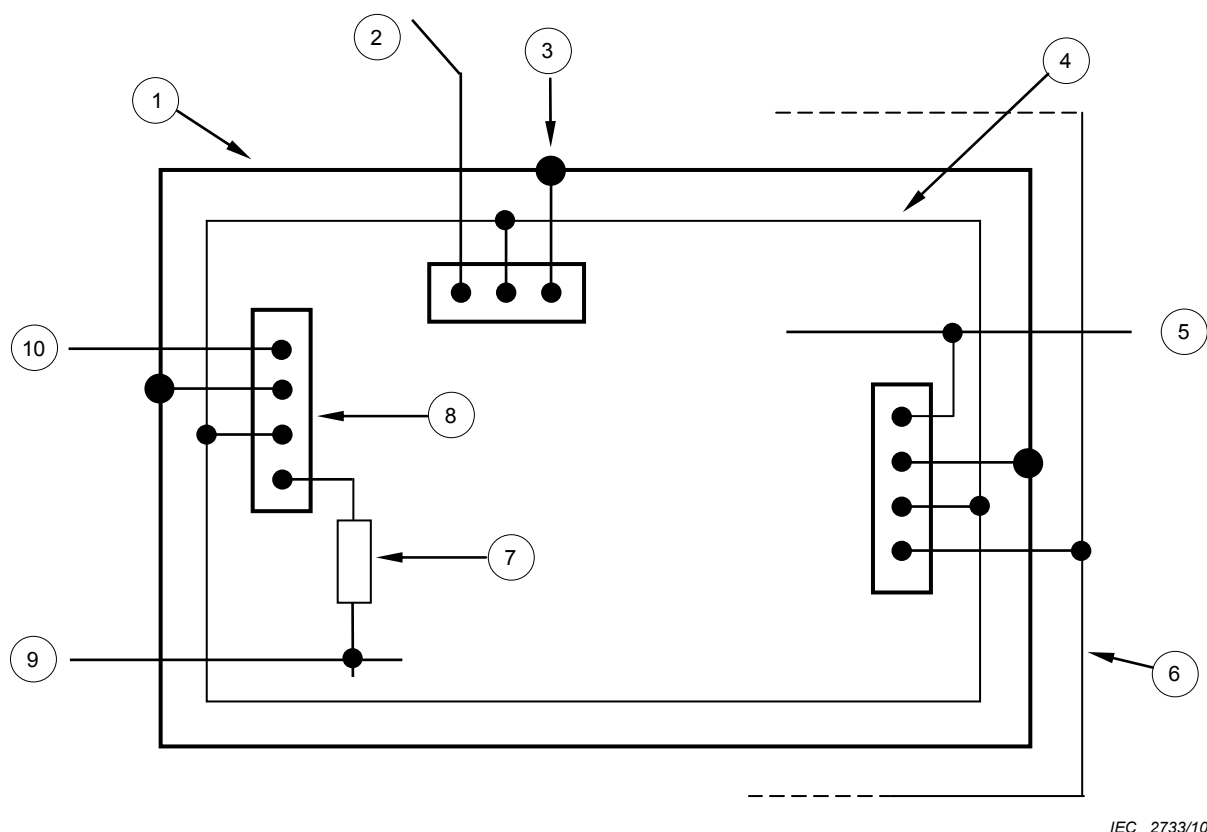


Légende

- 1 partie conductrice extérieure, par exemple canalisation d'eau métallique
- 2 réseau de puissance ou de communication
- 3 armature d'acier du mur extérieur en béton et de la fondation
- 4 prise de terre en boucle
- 5 vers une prise de terre complémentaire
- 6 borne spéciale d'équipotentialité
- 7 mur en béton armé, voir Légende, 3
- 8 parafoudre
- 9 barre d'équipotentialité

NOTE L'armature d'acier de la fondation est utilisée comme prise de terre naturelle.

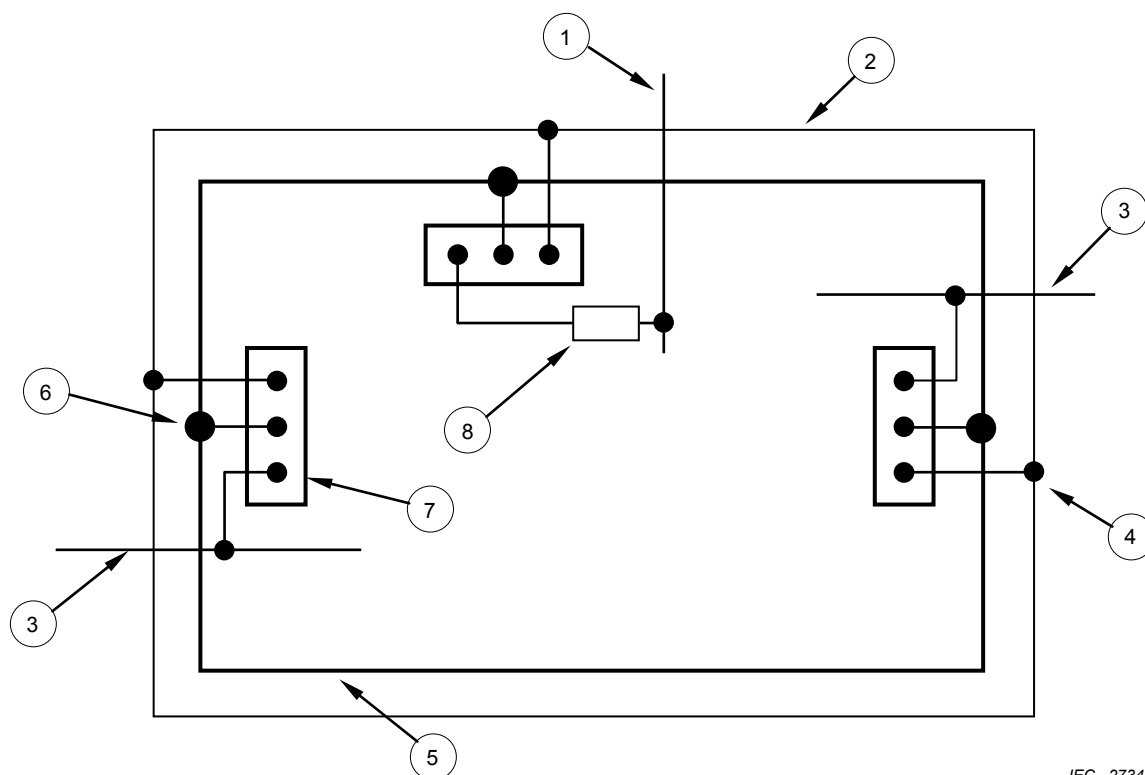
Figure E.44 – Exemple d'une disposition d'équipotentialité d'une structure avec des entrées multiples de parties conductrices extérieures utilisant une prise de terre en boucle pour l'interconnexion des barres d'équipotentialité



Légende

- 1 armature d'acier du mur extérieur en béton et de la fondation
- 2 autre prise de terre
- 3 borne d'équipotentialité
- 4 conducteur de ceinturage intérieur
- 5 vers la partie conductrice extérieure, par exemple, canalisation d'eau
- 6 prise de terre en boucle de terre, disposition de terre de type B
- 7 parafoudre
- 8 barre d'équipotentialité
- 9 réseau de puissance ou de communication
- 10 vers la prise de terre complémentaire, disposition de terre de type A

Figure E.45 – Exemple d'équipotentialité dans le cas d'entrées multiples de parties conductrices extérieures et d'un réseau de puissance ou de communication utilisant un conducteur de ceinturage intérieur pour l'interconnexion des barres d'équipotentialité



IEC 2734/10

Légende

- 1 réseau de puissance ou de communication
- 2 conducteur de ceinturage horizontal extérieur (au-dessus du sol)
- 3 partie conductrice extérieure
- 4 borne de conducteur de descente
- 5 armature d'acier dans le mur
- 6 borne d'équipotentialité à un élément en acier de la construction
- 7 barre d'équipotentialité
- 8 parafoudre

Figure E.46 – Exemple de disposition d'équipotentialité d'une structure avec des entrées multiples de parties conductrices extérieures dans la structure au-dessus du niveau du sol

E.6.2.3 Equipotentialité de foudre pour les parties conductrices extérieures

Pas d'informations complémentaires disponibles.

E.6.2.4 Equipotentialité de foudre pour les réseaux de puissance et de communication avec la structure à protéger

Des détails pour l'équipotentialité de foudre des réseaux internes sont donnés dans la EN 62305-4.

E.6.2.5 Equipotentialité des services extérieurs

Il convient, de préférence, que les parties conductrices extérieures et les services de puissance et de communication pénètrent dans la structure à proximité du niveau du sol et en un point commun.

Il convient que l'équipotentialité soit réalisée le plus près possible du point de pénétration dans le bâtiment. Dans le cas d'un réseau d'alimentation basse tension, cela est réalisé immédiatement en aval de la boîte d'entrée (soumis à l'agrément de la compagnie d'électricité locale).

Il convient que la barre d'équipotentialité à ce point d'entrée commun soit reliée par des conducteurs d'équipotentialité courts au réseau de prises de terre.

Si les services entrant dans le bâtiment sont des services écrantés, les écrans doivent être reliés à la barre d'équipotentialité. La surtension sur les conducteurs actifs dépend de la valeur du courant partiel de foudre dans l'écran (c'est-à-dire selon l'Annexe B) et de la section de l'écran. L'Annexe E de la EN 62305-1:2010 donne une méthode d'estimation de ce courant. Des parafoudres se révèlent nécessaires si les surtensions prévues dépassent les spécifications du service et des objets connectés.

Si les services entrant dans le bâtiment sont des services non écrantés, le courant partiel de foudre s'écoule dans les conducteurs actifs. Dans ce cas, il convient de placer des parafoudres avec capacité d'écoulement du courant de foudre au point d'entrée. Les conducteurs PE ou PEN peuvent être directement connectés à la barre d'équipotentialité.

Lorsque les parties conductrices extérieures et les services de puissance et de communication doivent pénétrer dans la structure en des points différents, et nécessitent par conséquent l'installation de plusieurs barres d'équipotentialité, il convient de connecter lesdites barres le plus près possible du réseau de prises de terre, c'est-à-dire la prise de terre en boucle, de l'armature de la structure et de la prise de terre à fond de fouille, le cas échéant.

Lorsqu'une disposition de terre de type A est utilisée comme partie intégrante du SPF, il convient de connecter les barres d'équipotentialité à chaque prise de terre et, par ailleurs, de les connecter à l'aide d'un conducteur de ceinturage intérieur ou d'un conducteur intérieur formant une boucle partielle.

Pour les entrées des services extérieurs au-dessus du sol, il convient de connecter les barres d'équipotentialité à un conducteur de ceinturage horizontal situé à l'intérieur ou à l'extérieur de la paroi extérieure reliée aux conducteurs de descente du SPF et à l'armature métallique de la structure, le cas échéant.

Il convient de relier le conducteur de ceinturage à l'armature d'acier et autres éléments métalliques de la structure, à intervalles réguliers de la distance comprise entre les conducteurs de descente tel qu'indiqué au Tableau 4, généralement tous les 5 m à 10 m.

Dans les bâtiments conçus principalement pour des centres informatiques, de communication et d'autres structures requérant un faible niveau d'effets d'induction de l'IEMF, il convient de connecter le conducteur de ceinturage à l'armature, généralement tous les 5 m.

Pour l'équipotentialité des services extérieurs dans des bâtiments en béton armé contenant des installations importantes de communication ou informatiques, et pour des structures avec des demandes de compatibilité électromagnétique strictes, il convient d'utiliser un «plan de masse» comportant plusieurs connexions à l'armature métallique de la structure ou d'autres éléments métalliques.

E.6.3 Isolation électrique du SPF extérieur

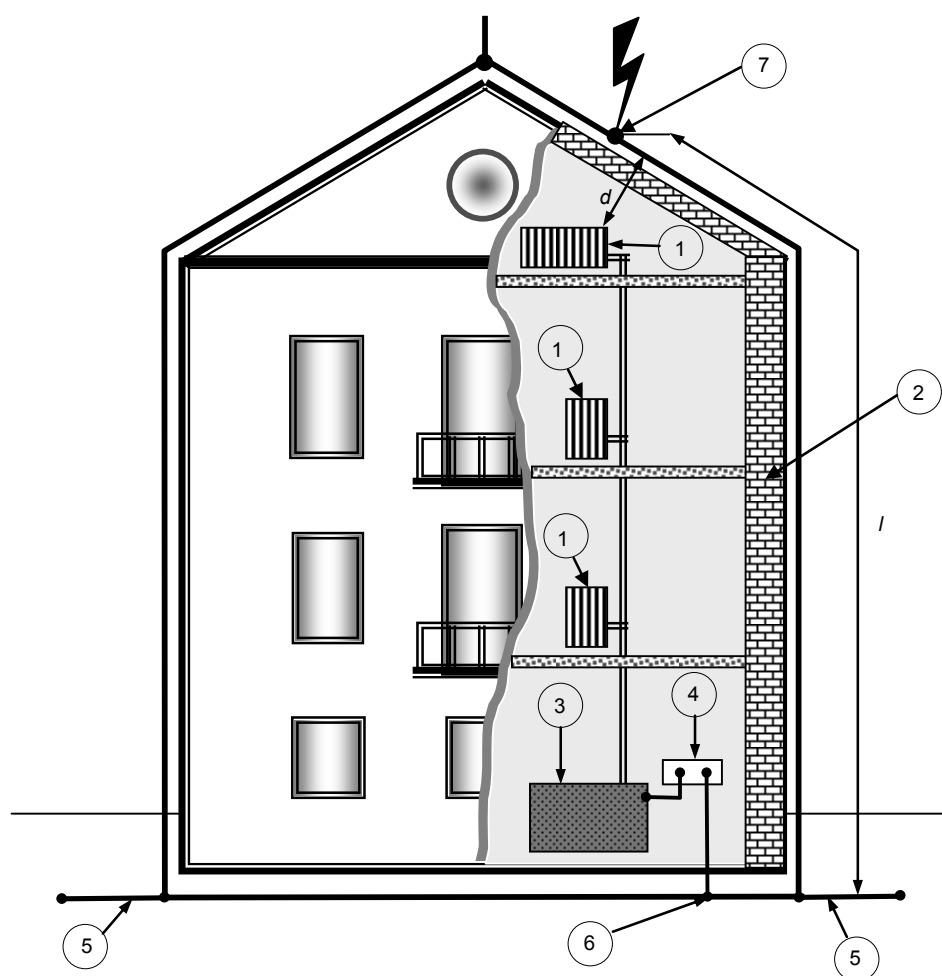
E.6.3.1 Généralités

Il convient de maintenir une distance de séparation appropriée, déterminée selon 6.3, entre le SPF extérieur et toutes les parties conductrices reliées à l'équipotentialité de la structure.

La distance de séparation peut être évaluée par l'Equation (4) indiquée en 6.3.

Il convient que la longueur de référence l pour le calcul de la distance de séparation s (voir 6.3) soit la distance entre le point de connexion à l'équipotentialité et le point le plus proche en suivant le conducteur de descente. Il convient que les conducteurs de toiture et de descente suivent le chemin le plus direct possible, afin de maintenir la distance de séparation nécessaire à un niveau faible.

La longueur et le cheminement du conducteur entre la barre d'équipotentialité et le point de proximité dans le bâtiment ont généralement peu d'influence sur la distance de séparation, mais lorsque ce conducteur chemine à proximité d'un conducteur d'écoulement du courant de foudre, la distance de séparation nécessaire est diminuée. La Figure E.47 illustre la méthode de mesure sur un SPF de la longueur critique, l , utilisée pour le calcul de la distance de séparation, s , selon 6.3.



IEC 2735/10

Légende

- 1 radiateur/chauffage métallique
- 2 paroi en briques ou en bois
- 3 chauffage
- 4 barre d'équipotentialité
- 5 réseau de prises de terre
- 6 connexion au réseau de prises de terre ou au conducteur de descente
- 7 cas le plus défavorable
- d distance réelle
- l longueur pour l'évaluation de la distance de séparation, s

NOTE La structure est constituée de briques isolantes.

Figure E.47 – Indications pour les calculs de la distance de séparation, s , pour le cas le plus défavorable de point d'impact de foudre à une distance, l , du point de référence selon 6.3

Dans les structures où les composants de construction sont utilisés comme conducteurs de descente naturels, par exemple, armature d'acier dans le béton, il convient que le point de référence soit le point de connexion au conducteur de descente naturel.

Il convient que les structures dont les surfaces extérieures ne comportent pas d'éléments conducteurs, telles que les structures en bois ou en briques, utilisent la plus courte distance totale possible le long des conducteurs de protection contre la foudre / entre le point d'impact de la foudre le plus défavorable et le réseau de prises de terre le plus proche ou le point de connexion du réseau d'équipotentialité de l'installation intérieure au conducteur de descente ou au réseau de prises de terre, pour le calcul de la distance de séparation, s , selon 6.3.

Lorsqu'il n'est pas possible de maintenir la distance supérieure à la distance de séparation s sur toute la longueur de l'installation considérée, il convient de réaliser également l'équipotentialité de l'installation au SPF au point le plus éloigné du point d'équipotentialité de référence (voir Figure E.47). Par conséquent, il convient que le nouveau cheminement des conducteurs de puissance soit conforme aux exigences relatives à la distance de séparation (voir 6.3) ou bien il convient que ces conducteurs soient entourés par un écran conducteur relié au SPF au point le plus éloigné du point d'équipotentialité de référence.

Lorsque l'équipotentialité des installations au SPF dans des bâtiments dont la hauteur est inférieure à 30 m est réalisée au point de référence et au point le plus éloigné, la distance de séparation est satisfaite tout au long du parcours de l'installation.

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

- Dans le cas de structures plus importantes, la distance de séparation entre les conducteurs du SPF et les installations métalliques est souvent tellement grande qu'elle ne peut pas être appliquée. Cela implique une équipotentialité supplémentaire du SPF à ces installations métalliques. Par conséquent, une partie du courant de foudre s'écoule à travers ces installations métalliques vers le réseau de prises de terre de la structure.
- Il convient de prendre en compte la perturbation électromagnétique due à ces courants partiels dans la planification des installations de la structure et la conception des zones électromagnétiques de protection contre la foudre à l'intérieur de la structure conformément à la EN 62305-4.

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

Dans le cas de toitures, la distance entre le SPF et les installations électriques est souvent plus courte que la distance de séparation, s , donnée en 6.3. Si tel est le cas, il convient de tenter d'installer le SPF ou le conducteur électrique en un lieu différent.

Il convient de conclure un accord avec la personne responsable de l'installation électrique afin d'effectuer un nouveau cheminement des circuits électriques qui ne sont pas conformes à la distance de séparation par rapport aux conducteurs de capture des structures.

Lorsque l'installation électrique ne peut faire l'objet d'un nouveau cheminement, il convient de réaliser l'équipotentialité avec le SPF extérieur conformément à 6.3.

Dans certains bâtiments, il n'est pas possible de maintenir les distances de séparation requises. Les constructions intérieures peuvent empêcher le concepteur ou l'installateur de juger les situations et de réaliser les connexions à certaines parties métalliques et à certains conducteurs de puissance. Il convient que cette information soit communiquée au propriétaire du bâtiment.

E.6.3.2 Approche simplifiée

L'approche simplifiée conforme à 6.3.2 peut être appliquée, si l'allongement horizontal le plus grand de la structure (longueur ou largeur) ne dépasse pas quatre fois sa hauteur.

E.6.4 Protection contre les effets des courants induits dans les réseaux internes

Les courants dans les conducteurs du SPF extérieur peuvent induire des surtensions excessives dans les boucles de conducteurs des installations internes par l'effet du couplage magnétique. Les surtensions peuvent entraîner des défaillances des réseaux internes.

Dans la mesure où la quasi-totalité des bâtiments comportent des matériels électroniques, il convient de prendre en compte l'effet du champ électromagnétique des conducteurs de descente extérieurs et intérieurs lors de la conception du système de protection contre la foudre.

Les mesures de protection contre les surtensions sont indiquées dans la EN 62305-4.

E.7 Maintenance et inspection du SPF

E.7.1 Objet des inspections

Il convient que l'inspection du SPF soit menée par un spécialiste de la protection contre la foudre conformément aux recommandations de l'Article E.7.

Il convient que l'inspecteur détienne le rapport de conception du SPF comportant la documentation nécessaire de ce dernier, telle que les critères et la description de la conception et les schémas techniques. Il convient également que l'inspecteur détienne les précédents rapports de maintenance et d'inspection du SPF.

Il convient d'examiner tous les SPF dans les situations suivantes:

- lors de l'installation du SPF, particulièrement lors de l'installation des composants dissimulés dans la structure et qui deviennent inaccessibles;
- après l'achèvement de l'installation du SPF;
- de manière régulière selon le Tableau E.2.

Tableau E.2 – Période maximale entre les inspections d'un SPF

Niveau de protection	Inspection visuelle année	Inspection complète année	Inspection complète des situations critiques ^{a b} année
I et II	1	2	1
III et IV	1	4	1
^a Il convient que les systèmes de protection contre la foudre utilisés dans les applications impliquant des structures avec un risque dû aux matériaux explosifs, fassent l'objet d'une inspection visuelle tous les 6 mois. Il convient de soumettre l'installation à des essais électriques une fois par an. Une exception acceptable au programme d'essai annuel consisterait à effectuer les essais sur un cycle de 14 à 15 mois lorsqu'il est considéré avantageux d'effectuer des essais de résistance de terre à des périodes différentes de l'année pour être informé des variations saisonnières.			
^b Les situations critiques peuvent inclure les structures contenant des réseaux internes sensibles, les immeubles administratifs et commerciaux ou les lieux de présence potentielle d'un grand nombre de personnes.			

Il convient que les intervalles entre inspections donnés dans le Tableau E.2 s'appliquent lorsqu'aucune exigence spécifique n'est identifiée par l'autorité compétente.



NOTE Si les autorités ou les institutions nationales exigent des essais réguliers du réseau de puissance d'une structure, il est recommandé de soumettre conjointement à l'essai le système de protection contre la foudre eu égard à l'application des mesures internes de protection contre la foudre, y compris l'équipotentialité de protection contre la foudre avec les réseaux de puissance. Il convient que des installations plus anciennes soient, de façon analogue, liées à une classe de protection contre la foudre, ou il convient que les intervalles entre les essais respectent les spécifications locales ou toutes autres spécifications d'essai telles que directives de construction, réglementations techniques, instructions, sécurité au travail et protection du droit du travail.

Il convient de soumettre le SPF à une inspection visuelle au moins une fois par an. Dans les zones à changements climatiques importants et soumises à des conditions climatiques extrêmes, il est conseillé de soumettre le système de protection à une inspection visuelle plus souvent que les périodes indiquées dans le Tableau E.2. Lorsque le SPF fait partie intégrante du programme de maintenance prévu par le client, ou constitue une exigence des assureurs du bâtiment, il peut être exigé qu'il fasse l'objet d'un essai complet annuel.

Il convient de déterminer l'intervalle entre les inspections du SPF par les facteurs suivants:

- la classification de la structure protégée, particulièrement compte tenu des effets consécutifs des dommages causés;
- la classe du SPF;
- l'environnement local, par exemple, pour une atmosphère corrosive, il convient de réduire les intervalles entre les inspections;
- les matériaux des composants individuels du SPF;
- le type de surface sur laquelle sont fixés les composants du SPF;
- la nature du sol et les vitesses de corrosion associées.

Outre les facteurs susmentionnés, il convient d'inspecter un SPF lors de toute modification ou réparation significative d'une structure protégée et également suite à toute décharge de foudre identifiée subie par le SPF.

Il convient de réaliser une inspection et un essai complets tous les deux à quatre ans. Il convient que les réseaux soumis à des conditions d'environnement critiques, par exemple, parties du SPF soumises à des contraintes mécaniques sévères telles que des fixations de liaison souples dans des zones fortement ventées, des parafoudres installés sur des canalisations, une liaison extérieure des câbles etc., fassent l'objet d'une inspection complète annuelle.

Dans la plupart des zones géographiques, et plus particulièrement dans les zones soumises à des variations saisonnières extrêmes en termes de température et de pluie, il convient de prendre en compte la variation de la valeur de la résistance de terre en mesurant le profil de profondeur de la résistivité du sol en différentes saisons.

Il convient d'envisager une amélioration du réseau de prises de terre lorsque les valeurs de résistance mesurées présentent des variations plus importantes que celles présumées lors de la conception, particulièrement lorsque la résistance augmente régulièrement entre les inspections.

E.7.2 Ordre des inspections

E.7.2.1 Procédure d'inspection

L'objet de cette inspection est de s'assurer que le SPF est conforme à la présente norme à tous les égards.

Cette inspection comprend la vérification de la documentation technique, les inspections visuelles, les essais et l'enregistrement des données dans un rapport d'inspection.

E.7.2.2 Vérification de la documentation technique

Il convient de vérifier la documentation technique pour s'assurer de son exhaustivité, de sa conformité à la présente norme et de la cohérence avec les schémas d'exécution de l'installation.

E.7.2.3 Inspections visuelles

Il convient d'effectuer des inspections visuelles pour s'assurer que

- la conception est conforme à la présente norme,
- le SPF est en bon état,
- les conducteurs et les bornes du SPF ne présentent aucune connexion desserrée ni aucune rupture fortuite,
- aucune partie du réseau n'est affaiblie par la corrosion, particulièrement au niveau du sol,
- toutes les connexions de terre visibles sont intactes (fonctionnellement opérationnelles),
- tous les conducteurs et composants visibles du réseau sont fixés aux surfaces de montage et les composants de protection mécanique sont intacts (fonctionnellement opérationnels) et au bon emplacement,
- aucune extension ou modification de la structure protégée n'impose de protection complémentaire,
- aucun dommage du SPF ou des parafoudres, ni aucune défaillance des fusibles de protection des parafoudres ne sont constatés,
- une équipotentialité correcte a été réalisée pour les nouveaux services ou ajouts éventuels apportés à l'intérieur de la structure depuis la dernière inspection et dans la mesure où des essais de continuité ont été effectués pour ces nouveaux ajouts,
- les conducteurs et connexions d'équipotentialité à l'intérieur de la structure sont en place et intacts (fonctionnellement opérationnels),
- les distances de séparation sont maintenues,
- les conducteurs et les bornes d'équipotentialité, les écrans, le cheminement des câbles et les parafoudres ont été vérifiés et soumis à l'essai.

E.7.2.4 Essais

L'inspection et les essais du SPF comprennent des inspections visuelles qu'il convient de compléter par ce qui suit:

- la réalisation d'essais de continuité, notamment la continuité des parties du SPF non visibles lors de l'inspection effectuée lors de l'installation initiale et qui ne peuvent faire l'objet d'une inspection visuelle ultérieure;
- la réalisation d'essais de résistance de terre du réseau de prises de terre. Il convient d'effectuer les mesures et vérifications de résistance de terre isolées et associées suivantes, et de consigner les résultats dans un rapport d'inspection du SPF.

NOTE 1 Des mesures en haute fréquence ou par impulsion peuvent être effectuées et se révèlent utiles pour déterminer le comportement en haute fréquence ou par impulsion du réseau de prises de terre. Ces mesures peuvent être effectuées lors de l'installation, ainsi que de manière périodique pour la maintenance du réseau de prises de terre afin de vérifier la cohérence entre le réseau de prises de terre réalisé et le besoin de protection.

- a) La résistance de terre de chaque prise de terre locale et, lorsque la pratique le permet, la résistance de terre du réseau de prises de terre complet.

Il convient de mesurer chaque prise de terre locale isolée de la borne d'essai entre le conducteur de descente et la prise de terre en position de sectionnement (mesure isolée).

NOTE 2 Pour les réseaux de prises de terre comportant à la fois les tiges de terre verticales et une prise de terre en boucle partielle ou complète, il convient de réaliser le sectionnement et les essais à la fosse

de visite de terre. Si ce type d'inspection est difficile à réaliser, il convient de compléter l'essai individuel par des essais à haute fréquence ou par impulsion.

Si la valeur de la résistance de terre globale du réseau de prises de terre excède $10\ \Omega$, il convient d'effectuer une vérification pour s'assurer que la prise de terre est conforme à la Figure 3.

Si la valeur de la résistance de terre s'est sensiblement accrue ou réduite, il convient d'effectuer des examens complémentaires pour déterminer la cause de ce changement.

Pour les prises de terre situées dans des sols rocaillieux, il convient de respecter les exigences de E.5.4.3.5. L'exigence de $10\ \Omega$ n'est pas applicable dans ce cas.

- b) Les résultats d'un contrôle visuel de tous les conducteurs, liaisons et bornes ou leur continuité électrique mesurée.

Si le réseau de prises de terre n'est pas conforme à ces exigences ou si la vérification des exigences n'est pas possible en raison d'un manque d'informations, il convient d'améliorer le réseau de prises de terre par l'installation de prises de terre supplémentaires ou d'un nouveau réseau de terre.

Les parafoudres dépourvus d'indicateur visuel doivent faire l'objet d'un essai, de préférence en appliquant les lignes directrices du fabricant ou en utilisant le matériel fourni par ce dernier.

E.7.2.5 Documentation d'inspection

Il convient d'élaborer des guides d'inspection des SPF pour en faciliter l'inspection. Il convient que ces guides contiennent des informations suffisantes pour aider l'inspecteur dans le processus d'inspection, de manière à ce qu'il puisse se documenter sur toutes les parties importantes, telles que la méthode d'installation du SPF, le type et l'état des composants, les méthodes d'essai et l'enregistrement approprié des données obtenues.

Il convient que l'inspecteur élabore un rapport d'inspection du SPF qu'il convient de conserver avec le rapport de conception du SPF et les rapports de maintenance et d'inspection précédemment compilés.

Il convient que le rapport d'inspection du SPF comporte les informations suivantes:

- les conditions générales des conducteurs de capture et des autres composants de capture;
- le niveau général de corrosion et l'état de la protection contre la corrosion;
- la sécurité des fixations des conducteurs et des composants du SPF;
- les mesures de la résistance de terre du réseau de prises de terre;
- tout écart par rapport aux exigences de la présente norme;
- la documentation concernant toutes les modifications et extensions du SPF et tous changements éventuels de la structure. De plus, il convient de revoir les schémas d'installation et de description de conception du SPF;
- les résultats des essais effectués.

E.7.3 Maintenance

Il convient de soumettre le SPF à un entretien régulier afin de s'assurer qu'il n'est pas détérioré et qu'il continue de satisfaire aux exigences pour lesquelles il a été conçu. Il convient que la conception d'un SPF détermine la maintenance et le cycle d'inspection nécessaires selon le Tableau E.2.

Il convient que le programme de maintenance du SPF assure une mise à jour permanente de ce dernier conformément à la présente norme.

E.7.3.1 Remarques générales

Les composants du SPF perdent de leur efficacité au cours des années en raison de la corrosion, des dommages liés aux intempéries, des dommages mécaniques et des dommages dus aux impacts de foudre.

Il convient que les programmes d'inspection et de maintenance soient spécifiés par une autorité ou par le concepteur ou l'installateur du SPF, en accord avec le propriétaire de la structure ou d'un représentant attitré.

Pour effectuer les travaux de maintenance et les inspections d'un SPF, il convient de coordonner les deux programmes, à savoir inspection et maintenance.

La maintenance d'un SPF est importante même si le concepteur du SPF a pris des mesures de prévention particulières pour assurer la protection contre la corrosion et a dimensionné les composants du SPF selon leur exposition particulière aux dommages causés par la foudre et aux intempéries, en complément des exigences de la présente norme.

Il convient que les caractéristiques mécaniques et électriques du SPF soient maintenues entièrement pendant toute la durée de vie de celui-ci afin de satisfaire aux exigences de conception de la présente norme.

Si des modifications sont effectuées sur le bâtiment ou ses équipements ou si l'objectif pour lequel le bâtiment est exploité est modifié, il peut se révéler nécessaire de modifier le SPF.

Si une inspection montre que des réparations sont nécessaires, il convient de les effectuer sans délai et de ne pas les reporter au cycle de maintenance suivant.

E.7.3.2 Procédure de maintenance

Il convient d'établir des programmes de maintenance périodique pour tous les SPF.

La fréquence des procédures de maintenance dépend des éléments suivants:

- dégradation liée aux conditions climatiques et à l'environnement;
- exposition aux dommages réels causés par la foudre;
- niveau de protection affecté à la structure.

Il convient d'établir des procédures de maintenance pour chaque SPF particulier, tout comme il convient que ces procédures fassent partie intégrante du programme général de maintenance de la structure.

Il convient qu'un programme de maintenance comporte une liste de points de vérification régulière destinée à servir de liste de contrôle de sorte que les procédures de maintenance explicites soient régulièrement suivies afin de pouvoir comparer les résultats récents avec les résultats antérieurs.



Il convient qu'un programme de maintenance comporte les dispositions suivantes:

- vérification de tous les conducteurs du SPF et composants de réseau;
- vérification de la continuité électrique de l'installation de SPF;
- mesure de la résistance de terre du réseau de prises de terre;
- vérification des parafoudres;
- re-fixation des composants et des conducteurs;
- vérification destinée à s'assurer que l'efficacité du SPF n'a pas été réduite après ajouts ou modifications de la structure et de ses installations.

E.7.3.3 Documentation de maintenance

Il convient de tenir des registres complets de toutes les procédures de maintenance, et il convient que lesdits registres comportent les actions correctives prises ou requises.

Il convient que les registres des procédures de maintenance prévoient des moyens d'évaluation des composants et de l'installation du SPF.

Il convient que le registre de maintenance du SPF serve de document de base pour la révision des procédures de maintenance ainsi que pour la mise à jour des programmes de maintenance. Il convient de conserver les registres de maintenance avec les rapports de conception et d'inspection du SPF.

Bibliographie

- [1] NFPA (National Fire Protection Standards), 780:2008, *Standard for the Installation of Lightning Protection Systems*
 - [2] IEC 61400-24, *Wind turbine generator systems – Part 24: Lightning protection* (disponible en anglais seulement)
 - [4] CEI 60050-826:2004, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 826: Installations électriques*
 - [3] CEI 60050-426:2008, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Partie 426: Matériel pour atmosphères explosives*
 - [5] CEI/TR 61000-5-2, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 5: Guides d'installation et d'atténuation – Section 2: Mise à la terre et câblage*
 - [6] IEC 60728-11, *Cable networks for television signals, sound signals and interactive services – Part 11: Safety* (disponible en anglais seulement)
-



Protection contre la foudre

UTE/UF 81

Liste des organismes représentés dans la commission de normalisation

Secrétariat : UTE

COPREC

EDF (ELECTRICITE DE FRANCE)

FFIE (FEDERATION FRANCAISE DES ENTREPRISES DE GENIE ELECTRIQUE ET ENERGETIQUE)

FRANCE TELECOM

GIMELEC (GROUPEMENT DES INDUSTRIES DE L'EQUIPEMENT ELECTRIQUE, DU CONTRÔLE-COMMANDE ET DES SERVICES ASSOCIES)

IGNES (GROUPEMENT DES INDUSTRIES DU GENIE NUMERIQUE ENERGETIQUE ET SECURITAIRE)

INERIS (INSTITUT NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL ET DES RISQUES)

LCPP (LABORATOIRE CENTRAL DE LA PREFECTURE DE POLICE)

MINISTERE DU TRAVAIL, DES RELATIONS SOCIALES, DE LA FAMILLE, DE LA SOLIDARITE ET DE LA VILLE

SUPELEC (ECOLE SUPERIEURE D'ELECTRICITE)

SYCABEL (SYNDICAT PROFESSIONNEL DES FABRICANTS DE FILS ET CABLES ELECTRIQUES ET DE COMMUNICATION)

TOTAL
