

## **Protection contre la foudre**

### **Systèmes de protection contre la foudre à dispositif d'amorçage**

E : Protection against lightning – Early streamer emission lightning protection systems

D : Blitzschutz – Blitzableitersysteme mit Startvorrichtung

---

### ***Norme française homologuée***

par décision du Directeur Général d'AFNOR le 17 août 2011, pour prendre effet à compter du 17 septembre 2011.

Remplace la norme homologuée NF C 17-102, de juillet 1995 qui reste en vigueur jusqu'en septembre 2012.

---

**Correspondance** Le présent document n'a pas d'équivalent à la CEI ou au CENELEC.

---

**Analyse** Ce document décrit les principales dispositions destinées à assurer la protection des structures, des bâtiments et des zones ouvertes contre les coups de foudre directs par paratonnerre à dispositif d'amorçage. Le principe de la protection des bâtiments contre la foudre est basé sur le modèle électrogéométrique.

---

**Descripteurs** Structures, bâtiment, zones ouvertes, protection contre la foudre, dispositif de protection, paratonnerre, installation, conception, conducteur de protection, mise à la terre électrique, protection contre la corrosion, vérification, vérification périodique, maintenance.

---

**Modifications** Par rapport au document remplacé, révision de la norme.

**Corrections** Par rapport à la version précédente, remplacement du paragraphe C.2.3.

## AVANT-PROPOS

*Il n'existe pas de norme internationale ni de norme européenne spécifique aux paratonnerres à dispositif d'amorçage.*

*Le présent document est destiné à remplacer l'édition de 1995 de la NF C 17-102 qui a fait l'objet d'un second tirage en 2009.*

*Le présent document indique les exigences pour concevoir, dans l'état actuel des connaissances et de la technique, une protection contre la foudre satisfaisante des structures (bâtiments, installations fixes, etc.) et des zones ouvertes (zones de stockage, aires de détente ou sportives, etc.) par paratonnerre à dispositif d'amorçage et donne des directives sur les moyens de réaliser cette protection.*

*Une installation de protection contre la foudre conçue et réalisée conformément au présent document, ne peut, comme tout ce qui concerne les éléments naturels, assurer la protection absolue des structures, des personnes ou des objets ; néanmoins, l'application du présent document doit réduire de façon significative les risques de dégâts dus à la foudre sur les structures protégées.*

*Les dispositions indiquées dans le présent document constituent des conditions minimales permettant d'assurer une protection statistiquement efficace.*

*Cette nouvelle édition constitue une refonte totale de la norme suite à la publication de la série des normes européennes EN 62305 et plus particulièrement de l'EN 62305-3 donnant les exigences pour la protection des structures contre la foudre.*

*Toutefois, la série EN 62305 ne traitant pas de la technologie des paratonnerres à dispositif d'amorçage, la révision de la NF C 17-102 est apparue essentielle afin de donner les exigences de conception d'un paratonnerre à dispositif d'amorçage ainsi que celles d'un système de protection foudre les mettant en œuvre.*

*Afin de n'avoir aucun conflit avec la série des normes européennes, le présent document ne fait aucune référence à celle-ci, mais reprend en tant que besoin les dispositions nécessaires pour la conception et la constitution du système de protection foudre.*

*L'UTE a fixé les dates suivantes :*

- Date à laquelle les normes nationales remplacées seront annulées : septembre 2012.*
- Date de cessation de la présomption de conformité des produits fabriqués selon les normes remplacées : septembre 2012.*

*Le présent document a été approuvé le 28 juin 2011 par la Commission UF81, Protection contre la foudre.*

---

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	2
1 Domaine d'application .....	9
2 Références normatives .....	9
3 Définitions .....	11
4 Système de protection contre la foudre avec paratonnerre à dispositif d'amorçage .....	17
4.1 Besoin de protection .....	17
4.2 Composants du système de protection contre la foudre .....	17
5 Système de protection contre la foudre à dispositif d'amorçage .....	19
5.1 Conception .....	19
5.2 Paratonnerre à dispositif d'amorçage .....	19
5.2.1 Principes généraux .....	19
5.2.2 Efficacité du PDA .....	20
5.2.3 Positionnement du PDA .....	20
5.2.4 Matériaux et dimensions .....	24
5.2.5 Installation .....	24
5.3 Conducteurs de descente .....	24
5.3.1 Principes généraux .....	24
5.3.2 Nombre de conducteurs de descente .....	25
5.3.3 Cheminement .....	26
5.3.4 Cheminement intérieur .....	27
5.3.5 Revêtement extérieur .....	27
5.3.6 Matériaux et dimensions .....	27
5.3.7 Joint de contrôle .....	28
5.3.8 Compteur de coups de foudre .....	28
5.3.9 Composants naturels .....	28
5.4 Liaison équipotentielle des parties métalliques .....	29
5.5 Liaison équipotentielle de foudre .....	29
5.5.1 Généralités .....	29
5.5.2 Liaison équipotentielle de foudre entre installations métalliques .....	29
5.5.3 Equipotentialité foudre des éléments conducteurs extérieurs .....	30
5.5.4 Equipotentialité foudre des systèmes internes .....	31
5.5.5 Equipotentialité foudre des lignes connectées à la structure à protéger .....	31
5.6 Distance de séparation .....	32
6 Prises de terre .....	33
6.1 Généralités .....	33
6.2 Types de prises de terre .....	34
6.3 Dispositions complémentaires .....	36
6.4 Equipotentialité des prises de terre .....	36
6.5 Conditions de proximité .....	37
6.6 Matériaux et dimensions .....	37
7 Mesures spéciales .....	37
7.1 Antennes .....	37
7.2 Zones d'entreposage des matériaux explosifs et inflammables .....	37
7.3 Edifices religieux .....	38

8	Dossier d'exécution, vérification et maintenance .....	38
8.1	Dossier d'exécution .....	39
8.2	Ordre des vérifications.....	39
8.3	Rapport de vérification.....	40
8.4	Vérification initiale .....	40
8.5	Vérification visuelle.....	40
8.6	Vérification complète .....	41
8.7	Maintenance.....	41
	Annexe A (normative) Évaluation du risque .....	42
A.1	Explication des termes.....	42
A.1.1	Domages et pertes .....	42
A.1.2	Risque et composantes des risques .....	43
A.1.3	Compositions des composantes de risque liées à la structure .....	45
A.2	Évaluation des risques.....	46
A.2.1	Procédure de base.....	46
A.2.2	Structure à prendre en compte pour l'évaluation du risque .....	46
A.2.3	Risque tolérable $R_T$ .....	47
A.2.4	Procédure pour évaluer le besoin de protection .....	47
A.2.5	Procédure d'évaluation des impacts économiques de la protection .....	47
A.2.6	Choix des mesures de protection.....	48
A.3	Évaluation des composantes du risque pour les structures .....	50
A.3.1	Equation de base .....	50
A.3.2	Évaluation des composantes du risque dû aux impacts sur une structure (S1).....	50
A.3.3	Évaluation des composantes du risque dû aux impacts à proximité de la structure (S2).....	50
A.3.4	Évaluation des composantes du risque dû aux impacts sur une ligne connectée à la structure (S3) .....	51
A.3.5	Évaluation de la composante du risque dû aux impacts à proximité d'une ligne connectée à la structure (S4) .....	51
A.3.6	Synthèse des composantes du risque dans une structure .....	52
A.3.7	Partition d'une structure en zones $Z_S$ .....	52
A.3.8	Évaluation des composantes de risque dans une structure avec des zones $Z_S$ .....	53
A.4	Évaluation du nombre annuel $N$ d'événements dangereux .....	54
A.4.1	Généralités .....	54
A.4.2	Évaluation du nombre annuel moyen des événements dangereux dus aux coups de foudre sur une structure $N_D$ et sur une structure connectée à l'extrémité «a» d'une ligne $N_{Da}$ .....	55
A.4.3	Évaluation des événements annuels moyens dangereux dus aux coups de foudre à proximité d'une structure $N_M$ .....	59
A.4.4	Évaluation du nombre annuel moyen des événements dangereux dus aux coups de foudre sur un service $N_L$ .....	60
A.4.5	Évaluation du nombre annuel moyen des événements dangereux dus aux coups de foudre à proximité d'un service $N_I$ .....	61

A.5	Evaluation de la probabilité de dommages $P_x$ d'une structure .....	62
A.5.1	Probabilité $P_A$ qu'un impact sur la structure entraîne des blessures sur les êtres vivants .....	62
A.5.2	Probabilité $P_B$ pour qu'un impact sur une structure entraîne des dommages physiques.....	62
A.5.3	Probabilité $P_C$ pour qu'un impact sur une structure entraîne des défaillances des réseaux internes.....	63
A.5.4	Probabilité $P_M$ qu'un impact à proximité d'une structure provoque la défaillance des réseaux internes .....	63
A.5.5	Probabilité $P_U$ pour qu'un impact sur un service entraîne des blessures sur des êtres vivants .....	65
A.5.6	Probabilité $P_V$ pour qu'un impact sur un service entraîne des dommages physiques.....	66
A.5.7	Probabilité $P_W$ pour qu'un impact sur un service entraîne des défaillances des réseaux internes.....	66
A.5.8	Probabilité $P_Z$ pour qu'un impact à proximité d'un service entrant entraîne des défaillances des réseaux internes.....	67
A.6	Evaluation du montant des pertes $L_x$ dans une structure.....	67
A.6.1	Montant relatif moyen des pertes annuelles .....	67
A.6.2	Perte de vie humaine .....	68
A.6.3	Pertes inacceptables de service public .....	70
A.6.4	Perte d'héritage culturel irremplaçable.....	71
A.6.5	Pertes économiques.....	72
Annexe B (normative)	Cartes de $N_g$ .....	73
Annexe C (normative)	PDA : procédures d'essais et exigences .....	74
C.1	Conditions de fonctionnement.....	74
C.1.1	Conditions normales .....	74
C.1.2	Conditions anormales.....	74
C.2	Exigences .....	74
C.2.1	Exigences générales .....	74
C.2.2	Exigences d'efficacité .....	74
C.2.3	Exigences électriques .....	74
C.2.4	Exigences mécaniques.....	75
C.2.5	Exigences d'environnement.....	75
C.2.6	Compatibilité électromagnétique.....	75
C.3	Essai de type.....	76
C.3.1	Essais généraux .....	77
C.3.2	Caractéristiques dimensionnelles .....	77
C.3.3	Conditionnements environnementaux .....	77
C.3.4	Essais de courant de tenue .....	77
C.3.5	Essais d'avance à l'amorçage .....	78
C.4	Structure et contenu du rapport d'essai .....	84
C.5	Entretien et maintenance des PDA.....	85

Annexe D (normative) Protection des personnes contre les chocs électriques provoqués par la foudre .....	86
D.1 Mesures de protection contre les lésions d'êtres humains en raison des tensions de contact et de pas .....	86
D.1.1 Mesures de protection contre les tensions de contact .....	86
D.1.2 Mesures de protection contre les tensions de pas .....	86
Annexe E (informative) Exemple de valeurs de coefficient $k_c$ .....	88
Bibliographie .....	90

### Figures :

Figure 1 – Composants du système de protection contre la foudre .....	18
Figure 2 – Rayons de protection (en supposant que $h_1 = 5$ m) .....	21
Figure 3 - Protection complémentaire contre les coups de foudre directs pour les 20 % les plus élevés de la structure des bâtiments d'une hauteur supérieure à 60 m .....	23
Figure 4 – Formes de courbure des conducteurs de descente .....	26
Figure 5 – Illustrations de la distance de séparation en fonction de la longueur considérée et augmentation de la différence de potentiel en fonction de la distance au point d'équipotentialité le plus proche (P) .....	32
Figure 6 – Schéma des types de mise à la terre A1 et A2 .....	35
Figure 7 - Edifices religieux .....	38
Figure A.1 – Procédure pour le choix des mesures de protection dans les structures .....	49
Figure A.2 – Structures aux extrémités de lignes : à l'extrémité «b» d'une structure à protéger (structure b) et à l'extrémité «a» d'une structure adjacente (structure a) .....	52
Figure A.3 – Surface équivalente d'exposition $A_d$ d'une structure isolée .....	55
Figure A.4 – Structure de forme complexe .....	56
Figure A.5 – Différentes méthodes de détermination de la zone équivalente d'exposition de la structure de la Figure A.4 .....	57
Figure A.6 – Structure à considérer pour l'évaluation de la surface équivalente d'exposition $A_d$ .....	58
Figure A.7 – Zones équivalentes d'exposition ( $A_d$ , $A_m$ , $A_i$ , $A_l$ ) .....	61
Figure B.1 – Carte du niveau $N_k$ , ( $N_k=10 \times N_g$ ) pour la France .....	73
Figure C.1 – Déroulement des essais .....	76
Figure C.2 - Paratonnerre à tige simple (PTS) de référence .....	78
Figure C.3 – Montage expérimental du PTS .....	79
Figure C.4 - Montage expérimental du PDA .....	79
Figure C.5 – Onde de référence .....	82
Figure C.6 - Principe de la correction graphique .....	83
Figure E.1 – Dans le cas d'un dispositif de capture constitué par de nombreux PDA interconnectés en toiture et d'une prise de terre de type B .....	88
Figure E.2 – Exemples de calcul de distance de séparation dans le cas d'un réseau de conducteurs de descente interconnectés par des ceinturages .....	89

**Tableaux :**

Tableau 1 – Dimensions minimales des conducteurs connectés à différentes barres d'équipotentialité ou entre les barres d'équipotentialité et la terre .....	30
Tableau 2 – Dimensions minimales des conducteurs d'interconnexion entre les éléments métalliques internes et la borne d'équipotentialité.....	30
Tableau 3 – Valeurs du coefficient $k_i$ .....	32
Tableau 4 – Valeurs du coefficient $k_m$ .....	33
Tableau 5 – Valeurs du coefficient $k_c$ .....	33
Tableau 6 – Sol à résistivité classique.....	35
Tableau 7 – Périodicité de vérification relative au niveau de protection .....	39
Tableau A.1 – Sources de dommages, types de dommages et types de pertes en fonction du point d'impact .....	43
Tableau A.2 – Composantes de risques à prendre en compte pour chaque type de perte dans une structure .....	46
Tableau A.3 – Valeurs types pour le risque tolérable $R_T$ .....	47
Tableau A.4 – Composantes du risque dans une structure pour différents types de dommages causés par différentes sources.....	52
Tableau A.5 – Facteur d'emplacement $C_d$ .....	58
Tableau A.6 – Zones équivalentes d'exposition $A_I$ et $A_i$ en fonction des caractéristiques du service .....	60
Tableau A.7 – Facteur de transformateur $C_t$ .....	60
Tableau A.8 – Facteur d'environnement $C_e$ .....	61
Tableau A.9 – Valeurs de probabilité PA pour qu'un impact sur la structure entraîne des chocs sur des êtres vivants dus à des tensions de contact et de pas.....	62
Tableau A.10 – Valeurs de PB en fonction des mesures de protection pour réduire les dommages physiques .....	62
Tableau A.11 – Valeur de la probabilité PSPD en fonction du LPL pour lequel les SPD sont conçus.....	63
Tableau A.12 – Valeur de la probabilité $P_{MS}$ en fonction du facteur $K_{MS}$ .....	64
Tableau A.13 – Valeur du facteur $K_{S3}$ en fonction du câblage interne .....	65
Tableau A.14 – Valeurs de la probabilité PLD en fonction de la résistance RS de l'écran du câble et de tension de tenue aux chocs Uw de l'équipement.....	66
Tableau A.15 – Valeurs de la probabilité PLI en fonction de la résistance RS de l'écran du câble et de tension de tenue aux chocs Uw de l'équipement .....	67
Tableau A.16 – Valeurs moyennes types de $L_t$ , $L_f$ et $L_o$ .....	68
Tableau A.17 – Valeurs des facteurs de réduction $r_a$ et $r_u$ en fonction du type de sol ou de plancher .....	69
Tableau A.18 – Valeurs de facteur de réduction $r_p$ en fonction des dispositions prises pour réduire la conséquence du feu .....	69
Tableau A.19 – Valeurs de facteur de réduction $r_f$ en fonction du risque d'incendie de la structure .....	70
Tableau A.20 – Valeurs du facteur $h_z$ augmentant le montant relatif des pertes en présence d'un danger particulier .....	70
Tableau A.21 – Valeurs moyennes types de $L_f$ et $L_o$ .....	71

Tableau A.22 – Valeurs moyennes types de $L_t$ , $L_f$ et $L_O$ .....	72
Tableau C.1 – Matériau, configuration et section minimale du corps de la partie de point d'impact.....	75
Tableau C.2 – Valeur du courant $I_{imp}$ .....	78



## SYSTEMES DE PROTECTION CONTRE LA FOUDRE A DISPOSITIF D'AMORÇAGE

### 1 Domaine d'application

Le présent document s'applique aux systèmes de protection contre la foudre à dispositif d'amorçage destinés à protéger les structures, les bâtiments et les zones ouvertes contre les impacts directs de foudre. Ce Système de Protection contre la Foudre (SPF) à dispositif d'amorçage doit être soumis à essai, sélectionné et installé conformément au présent document.

### 2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CLC/TS 61643-12	Parafoudres basse tension - Partie 12 : Parafoudres connectés aux réseaux de distribution à basse tension – Principes de choix et d'application
NF EN 50164 (Série)	Composants de protection contre la foudre (CPF) -
NF EN 50164-2 (C 17-151-2)	Composants de protection contre la foudre (CPF) - Partie 2 : Caractéristiques des conducteurs et des électrodes de terre
NF EN 50164-3 (C 17-151-3)	Composants de protection contre la foudre (CPF) - Partie 3 : Prescriptions pour les éclateurs d'isolement
NF EN 50164-5 (C 17-151-5)	Composants de protection contre la foudre (CPF) - Partie 5 : prescriptions pour les regards de visite et les joints d'étanchéité des électrodes de terre
NF EN 50164-6 (C 17-151-6)	Composants de protection contre la foudre (CPF) - Partie 6 : Compteur de coups de foudre
NF EN 50164-7 (C 17-151-7)	Composants de protection contre la foudre (CPF) - Partie 7 : Prescriptions pour les enrichisseurs de terre
NF EN 60060-1 (C 41-100-1)	Techniques des essais à haute tension - Partie 1: Définitions et exigences générales
NF EN 60068-2-52 (C 20-752)	Essais d'environnement - Partie 2 : Essais - Essai Kb : Brouillard salin, essai cyclique (solution de chlorure de sodium)
NF EN 60079-10 (C 23-579-10) (Série)	Atmosphères explosives - Partie 10 : Classification des emplacements
NF EN 61000-6-2 (C 91-006-2)	Compatibilité électromagnétique (CEM) - Partie 6-2 : Normes génériques – Immunité pour les environnements industriels
NF EN 61000-6-3 (C 91-006-3)	Compatibilité électromagnétique (CEM) - Partie 6-3 : Normes génériques - Norme sur l'émission pour les environnements résidentiels, commerciaux et de l'industrie légère
NF EN 61180-1 (C 41-106)	Techniques des essais à haute tension pour matériels à basse tension - Partie 1 : Définitions, prescriptions et modalités relatives aux essais

NF EN 61241-10 (C 23-241-10)	Matériels électriques pour utilisation en présence de poussières combustibles - Partie 10 : Classification des emplacements où des poussières combustibles sont ou peuvent être présentes
NF EN 61643 (Série)	Parafoudres basse tension -
NF EN 61643-11 (C 61-740)	Parafoudres basse-tension - Partie 11 : Parafoudres connectés aux systèmes de distribution basse tension - Prescriptions et essais.
NF EN ISO 6988 (A 05-106)	Revêtements métalliques et autres revêtements non organiques - Essai au dioxyde de soufre avec condensation générale de l'humidité
UTE C 15-443	Installations électriques à basse tension - Guide pratique - Protection des installations électriques basse tension contre les surtensions d'origine atmosphérique ou dues à des manœuvres - Choix et installation des parafoudres
UTE C 15-712-1	Installations électriques à basse tension - Guide pratique - Installations photovoltaïques raccordées au réseau public de distribution

### 3 Définitions

#### 3.1

##### **parafoudres coordonnés**

ensemble de parafoudres sélectionnés, coordonnés et installés de manière appropriée pour réduire les défaillances des réseaux électriques et électroniques

#### 3.2

##### **courant de choc ( $I_{imp}$ )**

courant crête ( $I_{crête}$ ) défini par une charge  $Q$  et une énergie spécifique  $W/R$

#### 3.3

##### **événement dangereux**

coup de foudre frappant un objet à protéger ou à proximité d'un tel objet

#### 3.4

##### **arc dangereux**

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

#### 3.5

##### **conducteur de descente**

partie du système de protection contre la foudre destinée à conduire le courant de foudre du PDA à la prise de terre

#### 3.6

##### **paratonnerre à dispositif d'amorçage (PDA)**

paratonnerre générant un amorçage de façon plus précoce qu'un paratonnerre à tige simple dans les mêmes conditions

NOTE Un paratonnerre à dispositif d'amorçage est composé d'une pointe caprice, d'un dispositif d'amorçage, d'un élément de fixation et d'une connexion aux conducteurs de descente.

#### 3.7

##### **système de protection contre la foudre à dispositif d'amorçage (SPF à dispositif d'amorçage)**

système complet fondé sur un ou plusieurs PDA et tous les éléments nécessaires pour conduire la foudre vers la terre en toute sécurité afin de protéger une structure, un bâtiment ou une zone ouverte contre les impacts directs de la foudre

NOTE Elle comprend à la fois des installations extérieures et intérieures de protection contre la foudre.

#### 3.8

##### **prise de terre**

partie d'un SPF à dispositif d'amorçage destinée à conduire et à dissiper le courant de foudre dans la terre

#### 3.9

##### **installation électrique**

ensemble des composants et canalisations de puissance

#### 3.10

##### **système électronique**

système comportant des composants électroniques sensibles tels que les matériels de communication, les ordinateurs, les systèmes de commande et de mesure, les systèmes radios et les installations d'électronique de puissance

**3.11****liaison équipotentielle**

interconnexion au SPF à dispositif d'amorçage des parties conductrices séparées (voir 5.5) d'une installation par des connexions directes ou au travers de parafoudres réduisant les différences de potentiel engendrées par le courant de foudre

**3.12****borne principale de terre**

barre utilisée pour connecter les composants naturels, conducteurs de terre, conducteurs de mise à la terre, écrans, blindages et conducteurs qui protègent les câbles de télécommunication ou autres au système de protection contre la foudre

**3.13****surface équivalente d'exposition d'une structure (Ad)**

surface de sol plat soumise au même nombre de coups de foudre que la structure étudiée

**3.14****efficacité du PDA ( $\Delta T$ )**

différence exprimée en microsecondes entre les instants d'amorçage d'un PDA et d'un paratonnerre à tige simple (PTS), mesurée en laboratoire dans les conditions définies dans le présent document

**3.15****SPF à dispositif d'amorçage isolé**

SPF dont le dispositif de capture et les descentes sont placés de manière que le courant de foudre ne puisse pas circuler dans la structure à protéger

NOTE Dans un SPF isolé, des arcs dangereux entre le SPF et la structure sont évités.

**3.16****SPF à dispositif d'amorçage non isolé**

SPF dont le dispositif de capture et les descentes sont placés de manière que le courant de foudre puisse circuler dans la structure à protéger

**3.17****défaillance des installations électriques et systèmes électroniques**

dommage permanent des installations électriques et systèmes électroniques dû aux IEMF

**3.18****courant de défaillance ( $I_a$ )**

valeur de crête minimale du courant de foudre entraînant des dommages

**3.19****blessures d'êtres vivants**

blessures, y compris blessures entraînant la mort, de personnes ou d'animaux dues aux tensions de contact et de pas causées par la foudre

**3.20****armatures d'acier interconnectées**

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

**3.21****système interne**

comprenant les installations électriques et les systèmes électroniques à l'intérieur d'une structure

**3.22****éclateur d'isolement**

composant isolant les diverses parties conductrices d'une installation, muni d'une distance de décharge

NOTE En cas de coup de foudre, les parties d'installation sont temporairement connectées suite à la réponse de décharge.

**3.23****impulsion électromagnétique de foudre (IEMF)**

effets électromagnétiques du courant de foudre

NOTE Elle comprend les surtensions conduites ainsi que les effets des champs électromagnétiques rayonnés.

**3.24****système de mesures de protection contre l'IEMF (SMPI)**

installation complète des mesures de protection contre l'IEMF pour les systèmes intérieurs

**3.25****densité de foudroiement ( $N_g$ )**

nombre de coups de foudre par  $\text{km}^2$  par an. Cette valeur peut être obtenue auprès des réseaux de localisation des coups de foudre au sol

**3.26****coup de foudre frappant à proximité d'un objet**

coup de foudre frappant suffisamment près d'un objet à protéger pour pouvoir causer des surtensions dangereuses

**3.27****coup de foudre frappant un objet**

coup de foudre frappant un objet à protéger

**3.28****coup de foudre à la terre**

décharge électrique d'origine atmosphérique entre un nuage et la terre, consistant en un ou plusieurs arc(s)

**3.29****niveau de protection contre la foudre (NPF)**

valeur liée à l'ensemble des paramètres du courant de foudre, indiquant la probabilité que les valeurs de conception maximales et minimales associées ne soient pas dépassées si la foudre apparaît de manière naturelle

NOTE Le niveau de protection contre la foudre est utilisé pour concevoir des mesures de protection selon le jeu approprié de paramètres du courant de foudre.

**3.30****zone de protection contre la foudre (ZPF)**

zone dans laquelle l'environnement électromagnétique de foudre est défini

NOTE Les frontières d'une ZPF ne sont pas nécessairement physiques (par exemple parois, plancher, plafond).

**3.31****perte ( $L_x$ )**

montant moyen de pertes (personnes et biens) consécutif à un type spécifique de dommage dû à un événement dangereux, par rapport à la valeur (personnes et biens) de l'objet à protéger

**3.32****composant naturel**

élément conducteur situé à l'extérieur de la structure, intégré aux parois ou situé à l'intérieur d'une structure, qui peut être utilisé pour compléter les conducteurs de descente du système de protection contre la foudre à dispositif d'amorçage

NOTE Pour la protection à l'aide de PDA, les composants naturels peuvent servir de compléments, mais ne doivent en aucun cas être les seuls conducteurs de descente, sauf avec des structures métalliques complètes.

**3.33****nœud**

point d'une ligne d'un service où la propagation d'un choc peut être négligée

NOTE Un point de connexion d'un transformateur HT/BT ou d'un multiplexeur d'une ligne de télécommunication ou encore un parafoudre mis en œuvre sur une ligne sont des exemples de nœud.

**3.34****fréquence des événements dangereux dus aux coups de foudre sur une structure ( $N_D$ )**

nombre annuel moyen prévisible des événements dangereux dus aux coups de foudre sur une structure

**3.35****fréquence des événements dangereux dus aux coups de foudre sur un service ( $N_L$ )**

nombre annuel moyen prévisible des événements dangereux dus aux coups de foudre sur un service

**3.36****fréquence des événements dangereux dus aux coups de foudre à proximité d'une structure ( $N_M$ )**

nombre annuel moyen prévisible des événements dangereux dus aux coups de foudre à proximité d'une structure

**3.37****fréquence des événements dangereux dus aux coups de foudre à proximité d'un service ( $N_I$ )**

nombre annuel moyen prévisible des événements dangereux dus aux coups de foudre à proximité d'un service

**3.38****objet à protéger**

structure ou service à protéger contre les effets de la foudre

NOTE Une structure à protéger peut faire partie d'une structure de plus grandes dimensions.

**3.39****dommage physique**

dommage touchant la structure (ou son contenu) ou un service et dû aux effets mécaniques, thermiques, chimiques et explosifs de la foudre

**3.40****canalisations**

tuyauteries destinées à transporter un fluide en entrée ou en sortie d'une structure, par exemple tuyaux de gaz, d'eau ou d'huile

**3.41****probabilité de dommage ( $P_X$ )**

probabilité qu'un événement dangereux cause un dommage à ou dans un objet à protéger

**3.42****zone protégée**

zone protégée par un système de protection contre la foudre à dispositif d'amorçage

**3.43****mesures de protection**

mesures à adopter dans l'objet à protéger pour réduire le risque

**3.44****paratonnerre à tige simple (PTS) de référence**

tige métallique de forme géométrique définie dans le présent document afin de servir de référence

**3.45****tension assignée de tenue aux chocs ( $U_w$ )**

valeur de tension de tenue aux chocs fixée par le constructeur pour les matériels ou une partie d'entre eux, caractérisant la capacité de tenue spécifiée de son isolation contre des surtensions transitoires

NOTE Pour les besoins du présent document, seule la tension de tenue en mode commun est prise en compte.

**3.46****risque ( $R$ )**

mesure de la perte annuelle moyenne probable (personnes et biens) due à la foudre, par rapport à la valeur (personnes et biens) de l'objet à protéger

**3.47****composante du risque ( $R_X$ )**

risque partiel qui dépend de la source et du type de dommage

**3.48****environnement rural**

zone présentant une faible densité de bâtiments

NOTE La campagne constitue un exemple d'environnement rural.

**3.49****distance de séparation**

distance entre deux parties conductrices telle qu'aucun arc dangereux ne puisse apparaître

**3.50****conducteur de descente spécifique**

conducteur de descente conforme à la NF EN 50164-2, mais ne faisant pas partie des composants naturels de la structure

**3.51****point d'impact**

lieu où un coup de foudre entre en contact avec la terre, une structure ou un système de protection contre la foudre

**3.52****structures avec risque d'explosion**

structures contenant des matériaux explosifs solides ou des zones dangereuses comme cela est déterminé dans la série NF EN 60079-10 et dans la NF EN 61241-10

NOTE Pour les besoins de l'évaluation de risque du présent document, seules les structures comportant des zones dangereuses de type 0 ou contenant des matériaux explosifs solides sont prises en considération.

**3.53****structures dangereuses pour l'environnement**

structures qui peuvent être à l'origine d'émissions biologiques, chimiques et radioactives à la suite d'un foudroiement ; par exemple installations chimiques, pétrochimiques, nucléaires, etc.

**3.54****environnement suburbain**

zone présentant une densité moyenne de bâtiments

NOTE Les zones à la périphérie immédiate des villes constituent un exemple d'environnement suburbain.

**3.55****choc**

onde transitoire se manifestant sous la forme de surtensions et/ou de surintensités causées par l'IEMF

NOTE Les chocs causés par l'IEMF peuvent provenir des courants de foudre (partiels), des effets inductifs dans des boucles de l'installation et se manifester comme la surtension résiduelle en aval des parafoudres.

**3.56****parafoudre (SPD)**

dispositif destiné à limiter les surtensions transitoires et à écouler les courants de foudre. Il comprend au moins un composant non linéaire

**3.57****lignes de communication**

support de transmission destiné à la communication entre des équipements qui peuvent être situés dans des structures séparées, comme les lignes téléphoniques et les lignes pour la transmission de données

**3.58****joint de contrôle**

dispositif conçu et placé de manière à faciliter les essais et mesures électriques des éléments du système de protection contre la foudre à dispositif d'amorçage

**3.59****risque tolérable ( $R_T$ )**

valeur maximale du risque qui peut être toléré par l'objet à protéger

**3.60****surtension transitoire d'origine atmosphérique**

surtension de courte durée, ne dépassant pas quelques millisecondes, oscillatoire ou non, généralement fortement amortie

**3.61****environnement urbain**

zone présentant une forte densité de bâtiments avec une population importante et des immeubles élevés

NOTE Un centre-ville constitue un exemple d'environnement urbain.

**3.62****zone d'une structure ( $Z_S$ )**

partie d'une structure dont les caractéristiques sont homogènes et dans laquelle un seul jeu de paramètres est utilisé pour l'évaluation d'une composante du risque



## **4 Système de protection contre la foudre avec paratonnerre à dispositif d'amorçage**

### **4.1 Besoin de protection**

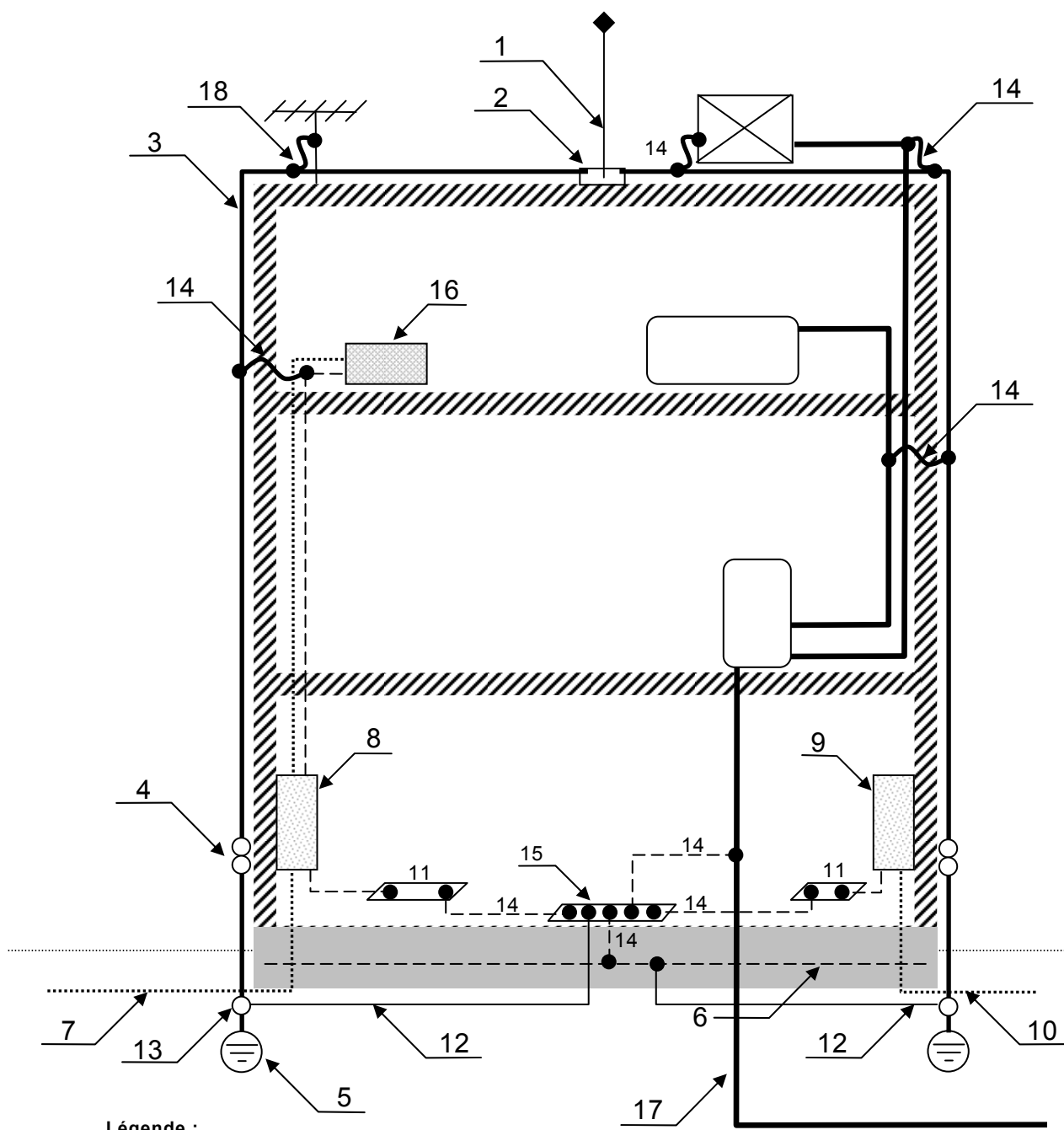
Le besoin de protection est déterminé d'après de nombreux paramètres, y compris la densité de foudrolement de la zone en question. Une méthode d'évaluation des risques est proposée dans l'Annexe A. La densité de foudrolement est indiquée dans l'Annexe B ou par les données locales, y compris par exemple le réseau de détection, les cartes et les statistiques.

NOTE 1 D'autres considérations peuvent conduire à l'adoption de mesures de protection pour des raisons autres que statistiques. Il peut s'agir par exemple de règlements obligatoires ou de considérations personnelles étant donné que certains facteurs ne peuvent pas être évalués : la volonté d'éviter les risques pour la vie ou de fournir aux occupants d'un bâtiment une certaine sécurité peut nécessiter l'utilisation d'une protection, même si le niveau de risque calculé est inférieur au niveau tolérable.

NOTE 2 D'autres documents normatifs donnent d'autres méthodes d'évaluation pouvant être utilisées.

### **4.2 Composants du système de protection contre la foudre**

L'installation peut être composée des éléments suivants :



**Légende :**

- 1 un ou plusieurs PDA ;
- 2 composant de connexion ;
- 3 un ou plusieurs conducteur(s) de descente spécifique ;
- 4 un joint de contrôle pour chaque conducteur de descente spécifique ;
- 5 une prise de terre pour chaque conducteur de descente spécifique ;
- 6 prise de terre à fond de fouille (mise à la terre de la structure) ;
- 7 câble de puissance ;
- 8 tableau de distribution d'alimentation avec parafoudres ;
- 9 tableau principal de distribution des télécommunications avec parafoudres ;
- 10 câble de télécommunication avec parafoudres ;
- 11 une ou plusieurs barre(s) d'équipotentialité ;
- 12 une ou plusieurs liaison(s) équipotentielle(s) entre les prises de terre ;
- 13 dispositif de liaison déconnectable ;
- 14 une ou plusieurs liaison(s) équipotentielle(s) (directe(s) ou via un éclateur d'isolement) ;
- 15 borne principale de terre ;
- 16 matériel électrique ;
- 17 canalisation métallique ;
- 18 une ou plusieurs liaison(s) équipotentielle(s) à travers un éclateur pour mât d'antenne.

**Figure 1 – Composants du système de protection contre la foudre**

## **5 Système de protection contre la foudre à dispositif d'amorçage**

### **5.1 Conception**

En fonction du niveau de protection contre la foudre nécessaire, il convient de déterminer le positionnement du paratonnerre, des cheminements des conducteurs de descente et de l'emplacement et du type de prise de terre.

Il convient que cette conception se fonde sur les données disponibles, y compris ce qui suit :

- forme et pente des toits ;
- matériau du toit, des parois et de la structure interne ;
- parties métalliques du toit et éléments métalliques extérieurs importants tels que les conduites de gaz, l'équipement de conditionnement de l'air, les échelles, les antennes, les réservoirs d'eau, etc. ;
- gouttières et tuyaux de descente des eaux pluviales ;
- parties proéminentes de la structure et matériau qui les composent (conducteur ou non) ;
- parties les plus vulnérables de la structure : les points structurels considérés vulnérables sont les parties proéminentes, en particulier les pylônes, girouettes, objets pointus, cheminées, gouttières, arêtes, objets métalliques (extracteurs d'air, systèmes de nettoyage des parois, rails, panneaux photovoltaïques (UTE C 15-712-1), lignes de vie, etc.), escaliers, locaux techniques sur des terrasses, etc. ;
- placement des conduits métalliques (eau, électricité, gaz, etc.) de la structure ;
- obstacles proches pouvant influencer la trajectoire de la décharge de foudre, par exemple les lignes d'alimentation aériennes, les clôtures métalliques, les arbres, etc. ;
- les caractéristiques de l'environnement pouvant être particulièrement corrosives (environnement salé, usine pétrochimique ou cimentière, etc.) ;
- présence de matériau inflammable ou appareil sensible tel que des ordinateurs ou matériel électronique, biens à valeur élevée ou irremplaçables, etc.

### **5.2 Paratonnerre à dispositif d'amorçage**

#### **5.2.1 Principes généraux**

Un paratonnerre à dispositif d'amorçage (PDA) se compose d'une pointe caprice, d'un dispositif d'amorçage, d'un élément de fixation et d'une connexion aux conducteurs de descente.

La zone protégée par un PDA est déterminée en fonction de son efficacité, tel que défini en 5.2.2.

Il convient que le PDA soit, de préférence, installé au niveau de la partie la plus élevée de la structure. Il doit constituer le point le plus élevé de la zone à protéger.

### **5.2.2 Efficacité du PDA**

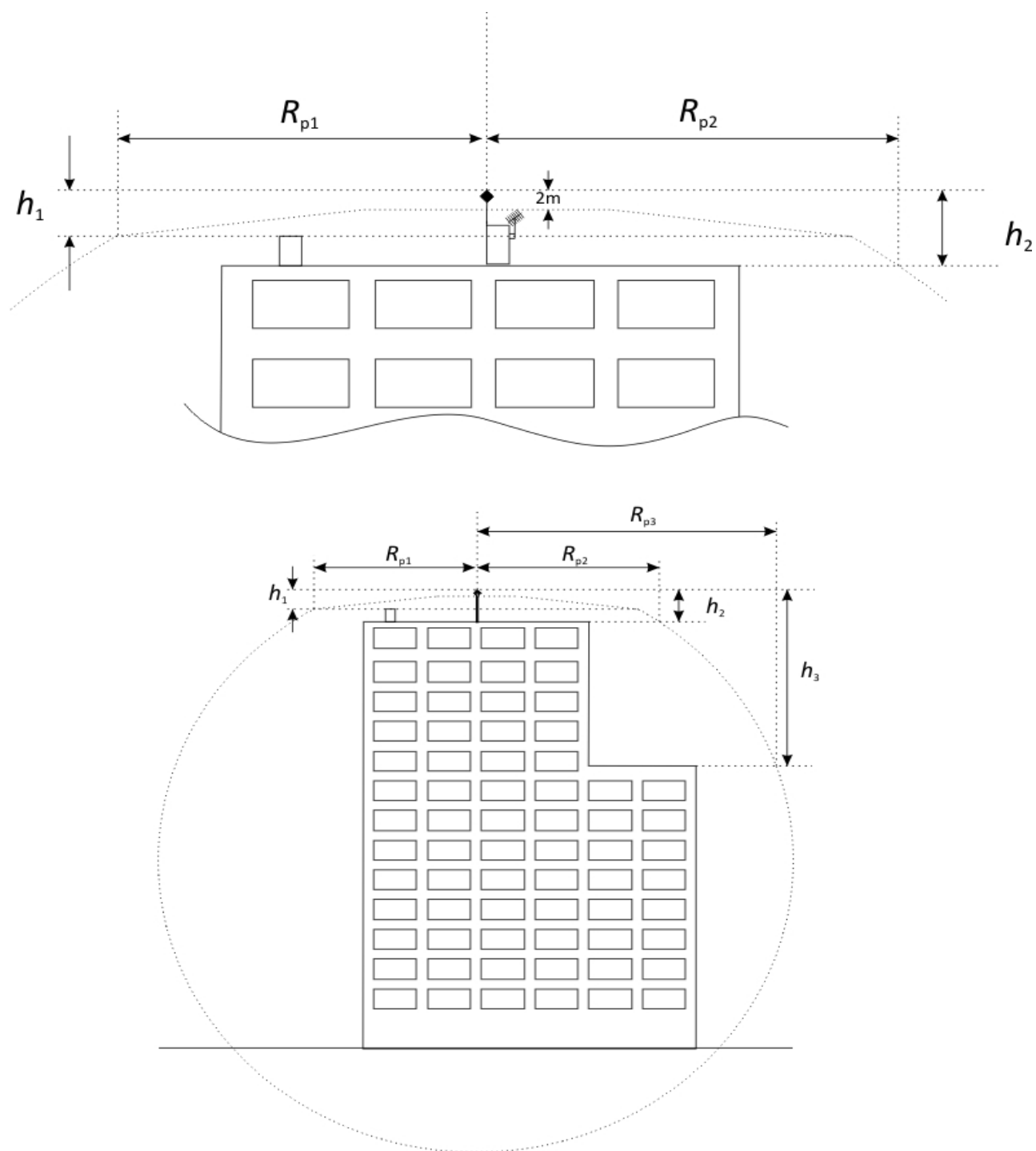
Un PDA est caractérisé par son efficacité  $\Delta T$ , déterminée par le biais de l'essai d'évaluation (voir l'Annexe C).

La valeur maximum admissible de  $\Delta T$  est de 60  $\mu s$ , même lorsque la valeur des résultats de l'essai est supérieure.

### **5.2.3 Positionnement du PDA**

#### **5.2.3.1 Zone protégée**

La zone protégée est délimitée par une surface de révolution définie par les rayons de protection correspondant aux différentes hauteurs  $h$  prises en compte et dont l'axe est identique à celui du paratonnerre (voir la Figure 2).



où :

$h_n$  correspond à la hauteur de l'extrémité du PDA sur le plan horizontal jusqu'au point le plus éloigné de l'objet à protéger ;

$R_{pn}$  correspond au rayon de protection du PDA pour la hauteur  $h_n$  prise en compte.

**Figure 2 – Rayons de protection (en supposant que  $h_1 = 5$  m)**

### 5.2.3.2 Rayon de protection

Le rayon de protection d'un PDA est lié à sa hauteur ( $h$ ) par rapport à la surface à protéger, à son efficacité et au niveau de protection sélectionné (voir Annexe A).

$$R_p(h) = \sqrt{2rh - h^2 + \Delta(2r + \Delta)} \quad \text{pour } h \geq 5 \text{ m} \quad (1)$$

et

$$R_p = h \times R_p(5) / 5 \quad \text{pour } 2 \text{ m} \leq h \leq 5 \text{ m} \quad (2)$$

où :

$R_p(h)$  (m) correspond au rayon de protection à une hauteur  $h$  donnée ;

$h$  (m) correspond à la hauteur de l'extrémité du PDA sur le plan horizontal jusqu'au point le plus éloigné de l'objet à protéger ;

$r$  (m) 20 m pour le niveau de protection I ;  
 30 m pour le niveau de protection II ;  
 45 m pour le niveau de protection III ;  
 60 m pour le niveau de protection IV ;

$\Delta$  (m)  $\Delta = \Delta T \times 10^6$   
 L'expérience sur le terrain montre que  $\Delta$  est égal à l'efficacité obtenue pendant les essais d'évaluation du PDA.

Pour les bâtiments d'une hauteur supérieure à 60 m, il convient d'appliquer les exigences mentionnées en 5.2.3.4.

### 5.2.3.3 Sélection et positionnement du PDA

Pour l'installation de chaque système de protection contre la foudre, une évaluation des risques doit être réalisée afin de déterminer le niveau minimum de protection contre la foudre requis.

Le lieu d'implantation du paratonnerre est choisi conformément au 5.2.1 et au 5.2.5.

Les différents rayons de protection  $R_p$  nécessaires pour la couverture de la structure sont déterminés en fonction des caractéristiques de la structure.

La hauteur du PDA et son efficacité sont déterminées en fonction des points précédents et à l'aide des formules ci-dessus pour le PDA sélectionné.

#### 5.2.3.4 Protection des bâtiments de grande hauteur (hauteur supérieure à 60 m)

Une protection complémentaire contre le coup de foudre direct pour les 20 % de la structure les plus élevés pour les bâtiments d'une hauteur supérieure à 60 m ou tout point supérieur à 120 m, à l'aide d'un PDA ou de tout autre moyen doit être mise en œuvre sur chaque façade conformément à une norme en vigueur. De plus, au minimum quatre conducteurs de descente, interconnectés le cas échéant par un conducteur de ceinturage, doivent être utilisés, répartis le long du périmètre et, si possible, à chaque angle du bâtiment.

NOTE Le risque associé à ces coups de foudre latéraux est généralement faible, en raison du faible pourcentage de coups de foudre sur l'ensemble des impacts sur une structure élevée, les coups de foudre latéraux présentant des paramètres beaucoup plus faibles que ceux des coups sur la toiture.

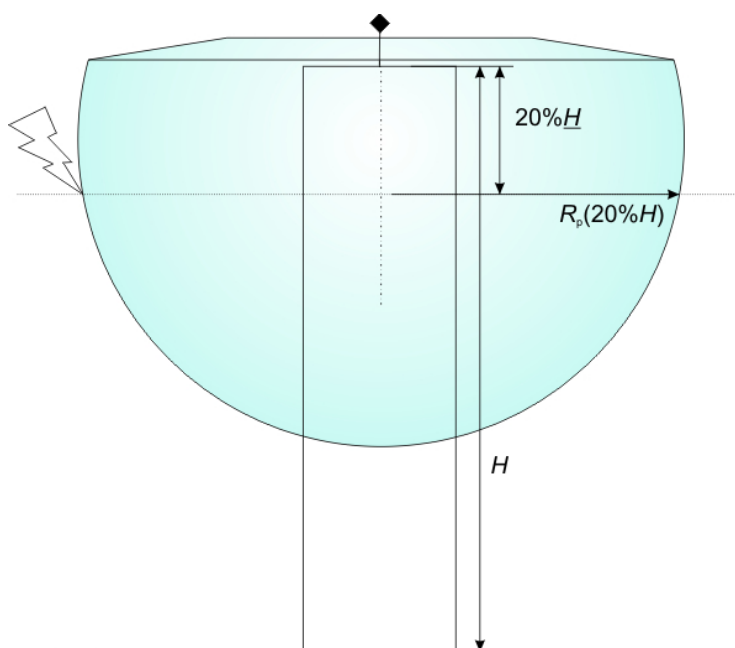


Figure 3 - Protection complémentaire contre les coups de foudre directs pour les 20 % les plus élevés de la structure des bâtiments d'une hauteur supérieure à 60 m

#### 5.2.3.5 Protection des bâtiments pour les niveaux de protection I+ et I++

**Niveau de protection I+ :** le SPF à dispositif d'amorçage, pour un niveau de protection 1, est également connecté à la structure métallique ou aux armatures métalliques du béton utilisées comme conducteurs de descente naturels en plus des conducteurs de descente dédiés inclus dans le SPF à dispositif d'amorçage, conformément à 5.3. La connexion aux conducteurs de descente naturels doit être effectuée au niveau du toit et du sol. Si les conducteurs de descente ne sont pas interconnectés au niveau du toit, un conducteur de ceinturage situé au-dessus du toit peut être utilisé pour satisfaire à ces exigences. Les conducteurs de descente doivent être interconnectés au niveau du sol par la boucle de mise à la terre ou un conducteur dédié.

En l'absence de conducteur de descente naturel ou si une des exigences ci-avant ne peut pas être satisfaite, le niveau I+ ne peut pas être atteint.

**Niveau de protection I++ :** le toit bénéficie d'une protection de niveau I+ par le biais d'un PDA dont le rayon de protection est réduit de 40 % par rapport aux valeurs données en 0 afin d'atteindre une protection complète des équipements présents sur le toit contre les coups de foudre directs.

#### **5.2.4 Matériaux et dimensions**

Il convient que tous les matériaux soient conformes à la NF EN 50164-2.

#### **5.2.5 Installation**

Le haut du PDA doit être installé au moins 2 m au-dessus de la zone qu'il protège, y compris les antennes, les tours de refroidissement, les toits, les réservoirs, etc.

Lors de la conception du SPF à dispositif d'amorçage, il est recommandé de prendre en compte les points architecturaux appropriés pour le positionnement d'un PDA. Ces emplacements sont des points structuraux hauts tels que les suivants :

- locaux situés sur les terrasses ;
- faîtages ;
- cheminées métalliques ou en maçonnerie.

Les PDA qui protègent les zones ouvertes (terrains de sport, golf, piscines, campings, etc.) doivent être installés sur des supports spécifiques tels que des mâts d'éclairage, des poteaux ou toute autre structure voisine qui permet au PDA de couvrir toute la zone à protéger.

Le PDA peut éventuellement être positionné sur un pylône autoportant.

Lorsque des haubans conducteurs sont utilisés, ils doivent être reliés aux conducteurs de descente au niveau du point d'ancrage au sol à l'aide de conducteurs conformes à la NF EN 50164-2.

### **5.3 Conducteurs de descente**

#### **5.3.1 Principes généraux**

La fonction des conducteurs de descente consiste à conduire le courant de foudre du paratonnerre à la prise de terre. Ils seront placés de préférence dans la partie extérieure de la structure.

Chacun des conducteurs de descente doit être fixé au PDA au moyen d'un système de connexion placé sur le mât. Ce dernier doit comprendre un élément d'adaptation mécanique qui garantira un contact électrique permanent.

Lorsqu'un conducteur de descente est placé sur une paroi composée de matériau combustible et n'est pas en cuivre, il convient qu'au moins une des conditions suivantes soit satisfaite afin d'éviter toute hausse de température dangereuse :

- séparation d'au moins 0,10 m ;
- section du conducteur d'au moins 100 mm<sup>2</sup>.

Pour être considérés indépendants, il convient que les cheminements de deux conducteurs de descente soient séparés d'une distance minimale de 2 m. Pour gérer tout problème pratique pouvant être rencontré, il est toléré que le cheminement soit identique sur une longueur équivalent à 5 % de la longueur totale du conducteur de descente le plus court.



### 5.3.2 Nombre de conducteurs de descente

Pour un SPF à dispositif d'amorçage non isolé, chaque PDA doit être connecté à au moins deux conducteurs de descente. Pour une meilleure distribution du courant, il convient que les deux cheminements à la terre soient situés sur deux façades différentes sauf en cas d'impossibilité technique.

Un des deux conducteurs de descente au moins doit être spécifique et conforme à la NF EN 50164-2, étant donné que les composants naturels peuvent être modifiés ou retirés sans tenir compte du fait qu'ils appartiennent à un système de protection contre la foudre.

Lorsque plusieurs PDA se trouvent sur le même bâtiment, les conducteurs de descente peuvent être mutualisés à condition que la distance de séparation calculée pour le système complet le permette. Ainsi, s'il y a  $n$  PDA sur le toit, il n'est pas systématiquement nécessaire d'avoir  $2n$  conducteurs de descente mais un minimum de  $n$  conducteurs de descente spécifiques est nécessaire.

Il convient que le nombre de conducteurs de descente spécifiques, conforme à la NF EN 50164-2, soit au moins égal au nombre de PDA du bâtiment. Le respect de la distance de séparation permet de déterminer le nombre de conducteurs de descente nécessaires ainsi que la possibilité de mutualisation des conducteurs de descente. L'augmentation du nombre de conducteurs de descente spécifiques permet de réduire la distance de séparation.

L'Annexe E donne des exemples du calcul de la distance de séparation en fonction du nombre de conducteurs de descente.

En cas de SPF à dispositif d'amorçage isolé, au moins un conducteur de descente est nécessaire pour chaque PDA.

En ce qui concerne les pylônes, mâts, cheminées et autres structures métalliques :

- si la structure métallique satisfait les exigences des composants naturels, elle peut être utilisée comme premier conducteur de descente ;
- si la structure est isolée, elle peut être utilisée comme conducteur de descente unique nécessaire. Aucun autre conducteur de descente spécifique n'est alors requis en complément ;
- si la structure n'est pas isolée, il peut être considéré qu'elle remplace les deux conducteurs de descente nécessaires si sa section est supérieure ou égale à  $100 \text{ mm}^2$ . Si la section est comprise entre  $50 \text{ mm}^2$  et  $100 \text{ mm}^2$ , un second conducteur de descente spécifique conforme à la NF EN 50164-2, est nécessaire. Une structure qui ne satisfait pas aux exigences relatives aux composants naturels ne peut pas être utilisée comme conducteur de descente. Par conséquent, un ou deux conducteur(s) de descente spécifique(s) est/sont nécessaire(s).

NOTE Les composants naturels doivent présenter une impédance faible et permanente. Il peut être nécessaire d'ajouter un conducteur de descente spécifique conformément à la NF EN 50164-2, pour obtenir cette impédance faible.

### 5.3.3 Cheminement

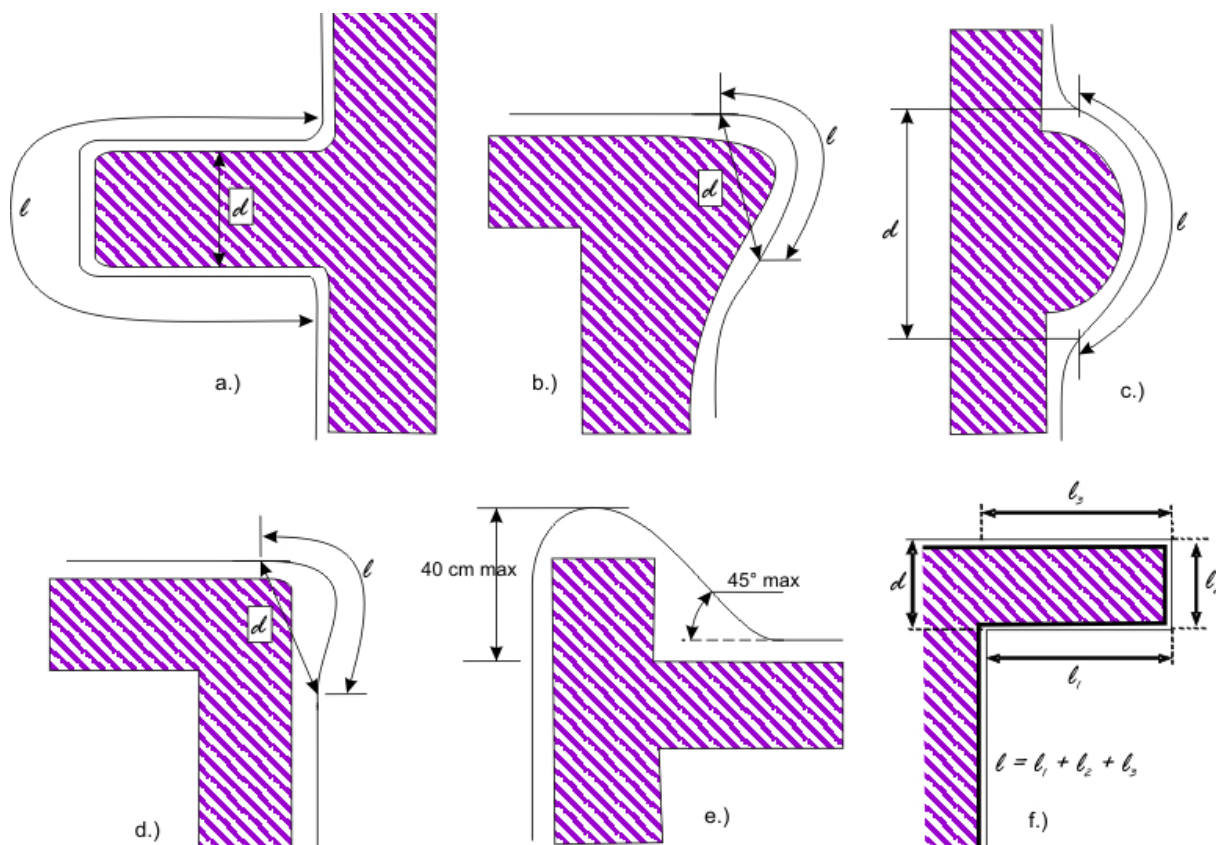
Il convient que le conducteur de descente soit installé de sorte que son chemin soit aussi direct que possible. Il convient que le cheminement du conducteur de descente soit aussi droit que possible, aussi court que possible, en évitant les angles vifs et les sections ascendantes. Il convient que les rayons de courbure soient supérieurs à 20 cm (voir Figure 4). En ce qui concerne les conducteurs de descente, il convient d'utiliser de préférence les courbures formées latéralement.

Il convient que les conducteurs de descente ne cheminent pas le long des canalisations électriques ou d'éviter de croiser ces dernières.

Il convient d'éviter tout cheminement autour des acrotères, des corniches et plus généralement des obstacles. Il convient de prendre des dispositions pour s'assurer que les chemins des conducteurs de descente soient aussi directs que possible.

Cependant, une hauteur maximale de 40 cm est admise pour passer au-dessus d'un obstacle pour passer avec une pente de 45° ou moins (voir Figure 4, Cas e)). Alternativement, le calcul de la distance de séparation selon 5.6 avec  $\ell = \ell_1 + \ell_2 + \ell_3$  selon le cas f) de la Figure 4 ci-dessous permet de déterminer le rayon de courbure minimal.

Sur la Figure 4, Cas d), la condition  $d > \ell/20$  est toujours satisfaite étant donné que  $d = \ell/\sqrt{2}$  pour n'importe quelle longueur  $\ell$ .



$\ell$  : longueur de la boucle, en mètres

$d$  : largeur de la boucle, en mètres

Le risque de rupture du diélectrique est évité si la condition  $d > \ell/20$  est respectée.

**Figure 4 – Formes de courbure des conducteurs de descente**

La valeur de la distance entre conducteurs de descente et entre les éventuels ceinturages est corrélée avec la distance de séparation.

Il convient que les conducteurs de descente soient fixés, à raison de trois fixations par mètre (environ tous les 33 cm). Il convient que ces fixations soient adaptées aux supports et que leur installation n'altère pas l'étanchéité du toit. Il convient que les fixations permettent une expansion thermique éventuelle des conducteurs, les fixations par percements systématiques du conducteur de descente doivent être proscrites.

Il convient que tous les conducteurs soient connectés entre eux à l'aide de colliers de nature identique, au moyen de rivets, de soudures ou d'un brasage.

Il convient de protéger les conducteurs de descente contre tout risque de choc mécanique, à l'aide de fourreaux de protection, jusqu'à une hauteur d'au moins 2 m au-dessus du niveau du sol.

NOTE La protection des personnes contre les risques de tension de contact est traitée en Annexe D.

#### 5.3.4 Cheminement intérieur

Lorsqu'un conducteur de descente ne peut pas être installé à l'extérieur de la structure, il peut être positionné à l'intérieur sur tout ou partie de la hauteur de la structure. Dans ce cas, il doit être mis en œuvre à l'intérieur d'un conduit ininflammable et isolant dédié.

La distance de séparation doit également être calculée pour les conducteurs de descente intérieurs, afin de pouvoir déterminer le niveau d'isolation nécessaire du conduit dédié.

L'exploitant doit être informé des difficultés engendrées pour la vérification et la maintenance des conducteurs de descente et des risques correspondants de surtensions à l'intérieur du bâtiment.

Il convient d'interdire l'accès au conduit dédié en cas de période orageuse ou de prendre des mesures de protection comme pour les conducteurs de descente extérieurs (voir Annexe D), y compris des liaisons équipotentielle des planchers avec le conducteur de descente.

#### 5.3.5 Revêtement extérieur

Lorsqu'un bâtiment possède un revêtement extérieur métallique ou un parement en pierres ou en verre ou si une partie de couverture de la façade est fixe, le conducteur de descente peut être installé sur la façade en béton ou sur la structure principale, sous le revêtement.

Dans ce cas, les parties conductrices du revêtement doivent être connectées au conducteur de descente dans ses parties supérieure et inférieure.

Le conducteur de descente, s'il n'est pas en cuivre, doit se trouver à plus de 10 cm derrière le matériau inflammable du revêtement extérieur si la surface de sa section transversale est inférieure à 100 mm<sup>2</sup>. Pour une surface de section transversale de 100 mm<sup>2</sup> ou plus, il n'est pas recommandé de maintenir une distance précise entre le conducteur de descente et le matériau isolant.

NOTE 1 Un calcul spécifique d'élévation de température peut être exécuté pour valider une règle différente.

NOTE 2 Les mêmes exigences s'appliquent également à tout matériau inflammable, même sur le toit (par exemple, toit en chaume)

#### 5.3.6 Matériaux et dimensions

Voir norme NF EN 50164-2.

### 5.3.7 Joint de contrôle

Il convient que chaque conducteur de descente soit muni d'un joint de contrôle permettant de déconnecter la prise de terre pour procéder à des mesures.

Les joints de contrôle sont en général installés sur les conducteurs de descente en partie basse. Pour les conducteurs de descente installés sur des parois métalliques ou les SPF non équipés de conducteurs de descente spécifiques, des joints de contrôle doivent être insérés entre chaque prise de terre et l'élément métallique auquel la prise de terre est connectée. Ils sont alors installés à l'intérieur d'un regard de visite (conforme à la NF EN 50164-5) comportant le symbole prise de terre.

### 5.3.8 Compteur de coups de foudre

Lorsque l'installation est équipée d'un compteur de coups de foudre, il convient que ce dernier soit installé sur le conducteur de descente le plus direct et soit situé de préférence juste au-dessus du joint de contrôle. Il doit être conforme à la NF EN 50164-6.

### 5.3.9 Composants naturels

Certains composants structurels conducteurs peuvent remplacer tout ou partie d'un conducteur de descente ou le compléter.

#### 5.3.9.1 Composants naturels pouvant remplacer tout ou partie d'un conducteur de descente

En général, des armatures en acier extérieures et interconnectées (structures métalliques) peuvent être utilisées comme conducteurs de descente si elles sont conductrices et si leur résistance est au maximum de  $0,1 \Omega$ .

Dans ce cas, le PDA est connecté directement à l'armature métallique dont la partie basse doit être connectée à la prise de terre.

L'utilisation d'un conducteur de descente naturel doit satisfaire aux exigences d'équipotentialité de 5.4.

#### 5.3.9.2 Composants naturels pouvant être utilisés pour compléter le(s) conducteur(s) de descente

Les éléments suivants peuvent être utilisés pour compléter la protection contre la foudre et reliés à cette dernière :

(a) armatures en acier interconnectées offrant une continuité électrique :

- structures métalliques internes, armatures en béton et structures métalliques à l'intérieur des parois, à condition que des bornes de raccordement spécifiques existent à cette fin en partie haute et basse ;
- structures métalliques extérieures ne courant pas sur toute la hauteur de la structure.

NOTE 1 Si du béton précontraint est utilisé, il convient d'accorder une attention particulière au risque d'effets mécaniques en raison du courant de foudre qui traverse le système de protection contre la foudre.

(b) tôles métalliques recouvrant la zone à protéger, sous réserve que :

- la continuité électrique entre les différentes parties soit durable ;
- elles ne soient pas revêtues de matériau isolant.

NOTE 2 Une fine couche de peinture de protection, 1 mm de béton ou 0,5 mm de PVC ne sont pas considérés comme une isolation

(c) canalisations métalliques si leur épaisseur est d'au moins 2 mm.

#### 5.4 Liaison équipotentielle des parties métalliques

Les éléments intérieurs du SPF à dispositif d'amorçage doit empêcher l'apparition d'arcs dangereux dans la structure à protéger, dues à l'écoulement du courant de foudre dans les éléments extérieurs du SPF à dispositif d'amorçage ou dans les autres parties conductrices de la structure.

Les arcs peuvent apparaître entre, d'une part les éléments extérieurs du SPF à dispositif d'amorçage et, d'autre part les composants suivants :

- les installations métalliques ;
- les systèmes intérieurs ;
- les éléments conducteurs extérieurs et les lignes pénétrant dans la structure.

Les arcs dangereux peuvent être évités à l'aide :

- d'une liaison équipotentielle, conformément à 5.5, ou
- d'une isolation électrique entre éléments conformément à 5.6.

#### 5.5 Liaison équipotentielle de foudre

##### 5.5.1 Généralités

L'équipotentialité est réalisée par l'interconnexion du SPF à dispositif d'amorçage avec :

- l'ossature métallique de la structure ;
- les installations métalliques ;
- les systèmes intérieurs ;
- les éléments conducteurs extérieurs et les lignes connectées à la structure.

Lorsqu'une équipotentialité de foudre est réalisée pour l'installation intérieure de protection, une partie du courant de foudre peut s'écouler à l'intérieur et cet aspect doit être pris en compte.

Les moyens d'interconnexion peuvent être :

- les conducteurs d'équipotentialité, si une continuité naturelle n'est pas obtenue ;
- les parafoudres, si l'équipotentialité n'est pas réalisable.

Leur réalisation est importante et doit être concertée avec l'opérateur du réseau de communication, le distributeur du réseau de puissance et les autres opérateurs ou autorités concernées, du fait d'éventuelles exigences contradictoires.

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

NOTE Si un SPF à dispositif d'amorçage est installé, des parties métalliques extérieures à la structure à protéger peuvent être affectées. Il convient que cela soit pris en compte lors de la conception. Des équipotentialités avec des parties métalliques extérieures peuvent aussi être nécessaires.

##### 5.5.2 Liaison équipotentielle de foudre entre installations métalliques

Dans le cas d'un SPF à dispositif d'amorçage extérieur isolé, une équipotentialité ne doit être réalisée qu'au niveau du sol.

Dans le cas d'un SPF à dispositif d'amorçage extérieur non isolé, la liaison équipotentielle 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 vérification. La barre d'équipotentialité doit être raccordée à la borne principale de terre. Dans de grandes structures (typiquement de longueur supérieure à 20 m), plusieurs barres d'équipotentialité peuvent être installées pourvu qu'elles soient interconnectées ;
- b) là où les exigences d'isolement ne sont pas satisfaites (voir 5.6).

Les liaisons équipotentielles doivent être aussi directes et droites que possible.

NOTE Si la liaison équipotentielle est reliée à une partie conductrice de la structure, une partie du courant de foudre peut s'écouler dans la structure et il convient de prendre en compte de tels effets.

Les valeurs minimales des sections des équipotentialités entre les barres et entre la barre et la terre sont données dans le Tableau 1.

Les valeurs minimales des sections des équipotentialités entre les installations métalliques et les barres sont données dans le Tableau 2.

**Tableau 1 – Dimensions minimales des conducteurs connectés à différentes barres d'équipotentialité ou entre les barres d'équipotentialité et la terre**

Niveau de protection	Matériau	Section transversale mm <sup>2</sup>
I à IV	Cuivre	16
	Aluminium	22
	Acier	50

**Tableau 2 – Dimensions minimales des conducteurs d'interconnexion entre les éléments métalliques internes et la borne d'équipotentialité**

Niveau de protection	Matériau	Section transversale mm <sup>2</sup>
I à IV	Cuivre	6
	Aluminium	8
	Acier	16

La liaison peut être obtenue à l'aide d'un éclateur d'isolement, conformément à la NF EN 50164-3.

### 5.5.3 Equipotentialité foudre des éléments conducteurs extérieurs

Pour les éléments conducteurs extérieurs, l'équipotentialité foudre doit être établie aussi près que possible de leur point de pénétration dans la structure à protéger.

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

La liaison peut être obtenue à l'aide d'un éclateur d'isolement, conformément à la NF EN 50164-3.

#### 5.5.4 Equipotentialité foudre des systèmes internes

Il est essentiel qu'une telle équipotentialité foudre soit réalisée conformément à 5.5.2 a) et 5.5.2 b).

Si les conducteurs des systèmes internes reliés à l'extérieur sont blindés ou installés dans des conduits métalliques, il peut être suffisant de mettre à la terre les écrans ou conduits métalliques.

Si ces conducteurs ne sont ni blindés ni dans des conduits métalliques, tous les conducteurs de ces lignes doivent être mis à la terre par parafoudre. En schéma TN, les conducteurs PE ou PEN doivent être reliés au SPF à dispositif d'amorçage directement ou par parafoudre.

Les conducteurs d'équipotentialité et les parafoudres doivent avoir les mêmes caractéristiques que celles données en 5.5.2.

Si la protection des systèmes internes contre les tensions de choc est prescrite, la protection par des parafoudres coordonnés conformément aux exigences de la NF EN 61643-11 et du CLC/TS 61643-12 doit être utilisée.

#### 5.5.5 Equipotentialité foudre des lignes connectées à la structure à protéger

Une équipotentialité foudre pour les lignes électriques et de télécommunication doit être réalisée conformément à 5.5.3.

Il convient que tous les conducteurs de chaque ligne soient mis à la terre directement ou par parafoudre. Seuls, les conducteurs actifs doivent être reliés à la barre d'équipotentialité par des parafoudres. En schéma TN, les conducteurs PE ou PEN doivent être reliés à la barre d'équipotentialité directement ou par parafoudre.

Lorsque les conducteurs sont blindés ou placés dans des conduits métalliques, ces écrans et conduits doivent être mis à la terre;

Les équipotentialités de foudre des écrans de câbles ou des conduits doivent être réalisées à proximité de leur point de pénétration dans la structure.

Les conducteurs d'équipotentialité et les parafoudres doivent avoir les mêmes caractéristiques que celles données en 5.5.3.

Lorsque la protection contre les surtensions d'origines atmosphériques des systèmes internes reliés à ces lignes pénétrant dans la structure est prescrite, la protection doit être assurée par des parafoudres coordonnés conformément aux exigences de la NF EN 61643-11, du CLC/TS 61643-12 et du guide UTE C 15-443.

## 5.6 Distance de séparation

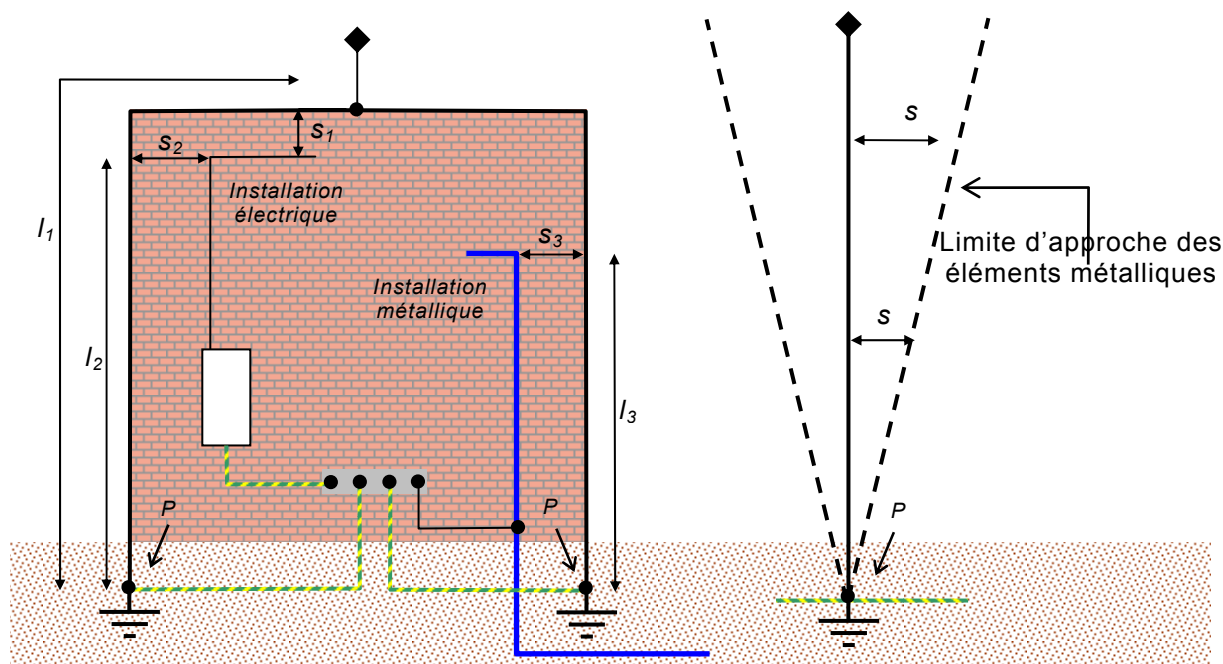
L'isolation électrique entre le dispositif de capture ou les conducteurs de descente et les parties métalliques de la structure, les installations métalliques et les systèmes intérieurs peut être réalisée par une distance de séparation «  $s$  » entre les parties. L'équation générale pour le calcul de «  $s$  » est la suivante :

$$s = k_i \frac{k_c}{k_m} I \quad (\text{m}) \quad (3)$$

où :

- $k_i$  dépend du niveau de protection choisi (voir Tableau 3) ;
- $k_m$  dépend du matériau d'isolation électrique (voir Tableau 4) ;
- $k_c$  dépend du courant de foudre qui s'écoule dans les conducteurs de descente et de terre ;
- $I$  est la longueur, en mètres, le long des dispositifs de capture et des conducteurs de descente entre le point où la distance de séparation est prise en considération et le point de la liaison équipotentielle la plus proche.

NOTE La longueur  $I$  le long du dispositif de capture peut être ignorée pour les structures à toiture métallique continue agissant comme dispositif de capture naturel.



**Figure 5 – Illustrations de la distance de séparation en fonction de la longueur considérée et augmentation de la différence de potentiel en fonction de la distance au point d'équipotentialité le plus proche (P)**

**Tableau 3 – Valeurs du coefficient  $k_i$**

Niveau de protection	$k_i$
I	0,08
II	0,06
III et IV	0,04



**Tableau 4 – Valeurs du coefficient  $k_m$** 

Matériau	$k_m$
Air	1
Béton, briques	0,5
NOTE 1 Si plusieurs matériaux isolants sont en série, une bonne pratique est de choisir la valeur la plus faible de $k_m$ .	
NOTE 2 Si d'autres matériaux isolants sont utilisés, il convient que le fabricant fournisse des conseils en matière de construction et la valeur de $k_m$ .	

Dans des structures en béton armé avec armatures métalliques interconnectées, une distance de séparation n'est pas requise.

**Tableau 5 – Valeurs du coefficient  $k_c$** 

Nombre de conducteurs de descente $n$	$k_c$	
	Disposition de terre de type A1 ou A2	Disposition de terre de type B
1	1	1
2	0,75 c)	1... 0,5 a)
3	0,60 b,c)	1 ...1/n (voir Figures E.1 et E.2) a,b)
4 et plus	0,41 b,c)	1 ...1/n (voir Figures E.1 et E.2) a,b)
a) Voir l'Annexe E		
b) Si les conducteurs de descente sont connectés horizontalement par un ceinturage, la distribution de courant est plus homogène dans la partie inférieure et $k_c$ est réduit. Cela est particulièrement applicable aux structures élevées.		
c) Ces valeurs sont valables pour de simples électrodes présentant des valeurs comparables de résistance. Si ces résistances sont très différentes, il est pris $k_c = 1$ .		
NOTE D'autres valeurs de $k_c$ peuvent être utilisées si des calculs détaillés sont effectués.		

## 6 Prises de terre

### 6.1 Généralités

Il convient d'interconnecter tous les systèmes de mise à la terre pour une même structure.

Une prise de terre est réalisée pour chaque conducteur de descente sur la base d'au moins deux électrodes par prise de terre.

En raison de la nature impulsionnelle du courant de foudre et afin d'améliorer l'appel de courant vers la terre, limitant ainsi le risque de surtensions dangereuses à l'intérieur du volume protégé, il est important de prendre en compte la forme et les dimensions de la prise de terre ainsi que la valeur de sa résistance.

Une certaine zone de contact avec le sol doit être assurée afin de faciliter la dispersion du courant de foudre sur une période brève.

Les prises de terre doivent satisfaire les exigences suivantes :

- la valeur de résistance mesurée à l'aide d'un équipement classique doit être la plus basse possible (inférieure à 10  $\Omega$ ). Cette résistance doit être mesurée au niveau de la prise de terre isolée de tout autre composant conducteur ;
- éviter les prises de terre équipées d'un composant vertical ou horizontal unique excessivement long (> 20 m) afin d'assurer une valeur d'impédance ou d'inductance la plus faible possible.

L'utilisation d'une prise de terre unique verticale profonde atteignant une couche de sol humide n'est donc pas avantageuse à moins que la résistivité de surface ne soit particulièrement élevée et qu'il existe une couche à conductivité élevée bien en dessous.

Cependant, il convient de noter que ce type de prises de terre forées présente une impédance élevée lorsque la profondeur dépasse 20 m. Donc, il convient d'utiliser un grand nombre de conducteurs horizontaux ou de tiges verticales, toujours parfaitement interconnectés d'un point de vue électrique.

Sauf impossibilité réelle, il convient que les prises de terre soient toujours dirigées vers l'extérieur des bâtiments.

NOTE Pour éviter toute tension de pas, il convient de se reporter à l'Annexe D.

## 6.2 Types de prises de terre

Les dimensions de la prise de terre dépendent de la résistivité du sol dans lequel les prises de terre sont installées. La résistivité peut varier très fortement, en fonction du matériau du sol (argile, sable, rocher, etc.).

La résistivité peut être évaluée à partir du Tableau 6 ou mesurée à l'aide d'une méthode adaptée avec un instrument de mesure de terre.

Pour chaque conducteur de descente, les prises de terre peuvent comprendre :

**Type A** : prise de terre spécifique, divisée en A1 et A2 :

- A1 - les conducteurs de même nature et section que les conducteurs de descente, à l'exception de l'aluminium, disposés sous forme de patte d'oie de grandes dimensions et enterrés à une profondeur minimum de 50 cm.  
Exemple : trois conducteurs de 7 m à 8 m de long, enterrés à l'horizontale, à une profondeur minimum de 50 cm.
- A2 - ensemble composé de plusieurs électrodes verticales de longueur totale minimum de 6 m à une profondeur minimum de 50 cm :
  - disposées en ligne ou en triangle et séparées les unes des autres par une distance égale à au moins la longueur enterrée ;
  - interconnectées par un conducteur enterré identique au conducteur de descente ou aux caractéristiques compatibles avec ce dernier.

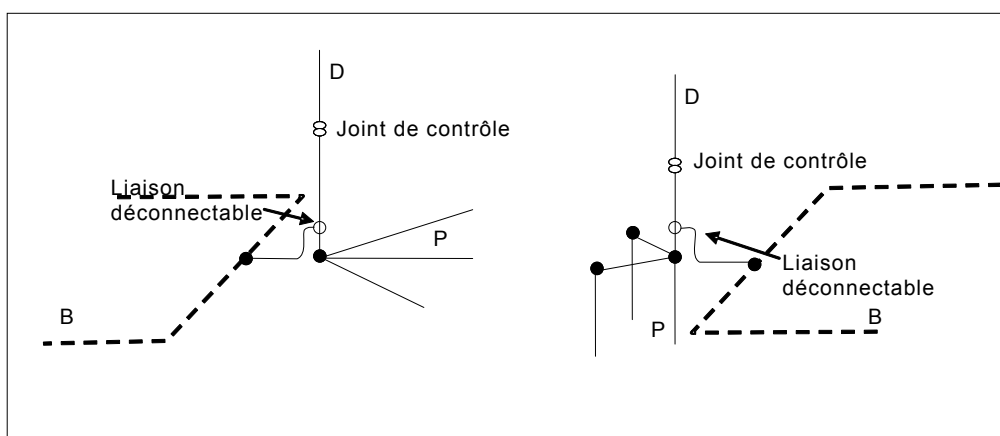
NOTE La disposition en triangle est recommandée.

**Type B** : électrode de terre en boucle

Cette disposition comprend soit une boucle extérieure à la structure en contact avec le sol sur une longueur d'au moins 80 % de la boucle, soit une prise de terre à fond de fouille, à condition qu'elle soit constituée d'un conducteur de 50 mm<sup>2</sup>. De plus, il convient que chaque conducteur de descente soit au moins connecté à une électrode horizontale de longueur 4 m minimum ou à une électrode verticale de longueur 2 m minimum.

**Tableau 6 – Sol à résistivité classique**

Type de sol	Résistivité ( $\Omega \cdot m$ )
Terrain marécageux	quelques unités à 30
Vase	20-100
Humus	10-150
Tourbe sèche	5-100
Argile molle	50
Marne et argile compacte	100-200
Marne du Jurassique	30-40
Sable argileux	50-500
Sable siliceux	200-3 000
Sol pierreux dénudé	1 500-3 000
Sol pierreux recouvert d'herbe	300-500
Calcaire tendre	100-300
Calcaire compact	1 000-5 000
Calcaire fissuré	500-1 000
Schiste	50-300
Micaschiste	800
Granite et grès d'altération météorique	1 500-10 000
Granite et grès d'altération météorique élevée	100-600



D : conducteurs de descente  
 B : boucle au niveau des fondations du bâtiment  
 P : mise à la terre du SPF à dispositif d'amorçage

**Figure 6 – Schéma des types de mise à la terre A1 et A2**

### 6.3 Dispositions complémentaires

Lorsque la résistivité élevée du sol empêche d'obtenir une résistance de prise de terre inférieure à 10  $\Omega$  à l'aide des mesures de protection normalisées ci-avant, les dispositions complémentaires suivantes peuvent être utilisées :

- ajout d'un matériau naturel non corrosif de moindre résistivité autour des conducteurs de mise à la terre ;
- ajout d'électrodes de terre à la disposition en forme de patte d'oie ou connexion de ces dernières aux électrodes existantes ;
- application d'un enrichisseur de terre conforme à la NF EN 50164-7 ;

Lorsque l'application de toutes les mesures ci-dessus ne permettent pas d'obtenir une valeur de résistance inférieure à 10  $\Omega$ , il peut être considéré que la prise de terre de Type A assure un écoulement acceptable du courant de foudre lorsqu'elle comprend une longueur totale d'électrode enterrée d'au moins :

- 160 m pour le niveau de protection I ;
- 100 m pour les niveaux de protection II, III et IV.

Dans tous les cas, il convient que chaque élément vertical ou horizontal ne dépasse pas 20 m de long.

La longueur nécessaire peut être une combinaison d'électrodes horizontales (longueur cumulée  $L_1$ ) et d'électrodes verticales (longueur cumulée  $L_2$ ) avec l'exigence suivante :


$$160 \text{ m (respectivement } 100 \text{ m)} \leq L_1 + 2 \times L_2 \quad (4)$$

Pour une prise de terre de Type B, lorsqu'une valeur de 10 ohms ne peut être obtenue, il convient que la longueur cumulée des n électrodes supplémentaires soit de :

- 160 m pour le niveau de protection I (respectivement 100 m pour les autres niveaux de protection) pour une électrode horizontale ;
- 80 m pour le niveau de protection I (respectivement 50 m pour les autres niveaux de protection) pour les électrodes verticales ;
- ou une combinaison telle qu'expliquée ci-avant pour une prise de terre de Type A.

### 6.4 Equipotentialité des prises de terre

Si le bâtiment ou le volume protégé possède une prise de terre à fond de fouille pour l'installation électrique, il convient de connecter les prises de terre du SPF à dispositif d'amorçage à ce dernier à l'aide d'un conducteur normalisé (voir NF EN 50164-2).

Pour les nouvelles constructions, il convient que cette mesure soit prise en compte dès l'étape initiale de conception et il est recommandé que l'interconnexion au circuit de mise à la terre à fond de fouille soit exécutée au droit de chaque conducteur de descente par un dispositif déconnectable et situé de préférence dans un regard de visite comportant le symbole .

Pour les bâtiments et les installations existants, les interconnexions doivent être réalisées de préférence sur les parties enterrées et une déconnexion doit être possible pour les vérifications. En cas d'interconnexions à l'intérieur d'un bâtiment, il est recommandé que le cheminement du conducteur évite les inductions au niveau des câbles et des matériels environnants.

Lorsque plusieurs structures séparées sont incluses dans le volume protégé, la prise de terre du PDA doit être reliée au réseau d'équipotentialité enterré qui interconnecte toutes les structures.

## 6.5 Conditions de proximité

Les composants de la prise de terre du SPF à dispositif d'amorçage doivent être à au moins 2 m de toute canalisation métallique ou canalisation électrique enterrée si ces canalisations ne sont pas connectées d'un point de vue électrique à la liaison équipotentielle principale de la structure.

Pour les sols dont la résistivité est supérieure à 500  $\Omega$  m, la distance minimum est portée à 5 m.

## 6.6 Matériaux et dimensions

Voir la NF EN 50164-2.

# 7 Mesures spéciales

## 7.1 Antennes

Une antenne sur le toit d'un bâtiment augmente les risques dus à un coup de foudre. Il s'agit du premier élément vulnérable susceptible de recevoir la décharge de foudre.

Le mât de support de l'antenne doit être connecté directement ou par le biais d'un éclateur d'isolement conforme à la NF EN 50164-3 au système de protection contre la foudre à l'aide d'un conducteur adapté, à moins que l'antenne ne se trouve à l'extérieur de la zone protégée ou sur un autre toit ou une distance du SPF supérieure à la distance de séparation. Il convient alors que le câble coaxial soit protégé au moyen d'un parafoudre.

Un mât de support commun peut être utilisé dans les conditions suivantes :

- le PDA est fixé à l'extrémité du mât ;
- la pointe du PDA se trouve au moins à 2 m au-dessus de l'antenne la plus proche ;
- le conducteur de descente est fixé directement sur le PDA à l'aide d'un connecteur ;
- le câble coaxial de l'antenne chemine à l'intérieur du mât de l'antenne.

Dans le cas d'un pylône treillis, il est préférable de faire cheminer le câble coaxial à l'intérieur d'un tube métallique.

## 7.2 Zones d'entreposage des matériaux explosifs et inflammables

Il convient que les réservoirs qui contiennent des fluides inflammables soient mis à la terre. Cependant, cette connexion à la terre n'offre pas de protection adéquate contre les décharges atmosphériques. Une étude approfondie complémentaire est par conséquent nécessaire.

Les PDA doivent être placés à l'extérieur des zones à risque d'explosion, à un niveau plus élevé que les installations à protéger. Dans la mesure du possible, le cheminement des conducteurs de descente s'effectue à l'extérieur des zones à risque d'explosion. En cas d'impossibilité, une attention particulière devra être portée sur les mesures à mettre en œuvre pour éviter la formation d'arc.

Il convient que les prises de terre soient orientées à l'opposé des zones d'entreposage.

NOTE L'installation d'un compteur de coups de foudre est recommandée.

### 7.3 Edifices religieux

Les clochers, les tours, les minarets et les beffrois sont susceptibles d'être touchés par la foudre en raison de leur proéminence.

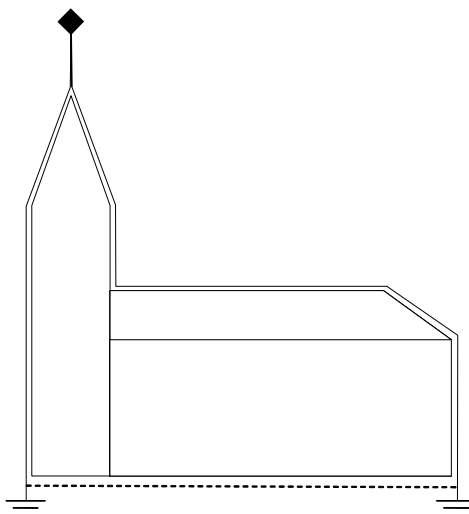
Pour ce type d'édifice, le SPF à dispositif d'amorçage doit comprendre un premier conducteur de descente cheminant directement le long de la tour principale.

Lorsque la hauteur du point culminant de l'édifice est supérieure à 40 m, il est recommandé que le second conducteur de descente spécifique suive le faitage du corps principal de l'édifice.

Lorsque l'extrémité du corps principal de l'édifice est équipée d'un élément proéminent non métallique (une croix, une statue non métallique, etc.), ces objets sont dotés d'un dispositif de capture.

Il convient que toutes les prises de terre du SPF à dispositif d'amorçage et la prise de terre électrique soient interconnectées par une liaison équipotentielle.

Certains édifices disposent de cloches électrifiées. Leur alimentation électrique doit être protégée contre les surtensions à l'aide de parafoudres, conformément à la NF EN 61643-11 et au CLC/TS 61643-12.



**Figure 7 - Edifices religieux**

## 8 Dossier d'exécution, vérification et maintenance

La configuration d'un SPF à dispositif d'amorçage et les composants de protection foudre installés sont vérifiés par rapport au présent document et au dossier d'exécution. Le bon état du SPF et son maintien doit être assuré dans le temps.

### 8.1 Dossier d'exécution

Un dossier d'exécution doit être constitué par l'installateur à l'issu des travaux et comprendre au moins les éléments suivants :

- niveau de protection retenu ;
- justification de la protection ;
- type et caractéristiques du PDA ;
- méthode de contrôle du PDA ;
- nombre et localisation des conducteurs de descentes ;
- présence éventuelle et localisation de compteur de coup de foudre ;
- justification du respect des distances de séparation ;
- justification des liaisons équipotentielles de foudre y compris des parafoudres ;
- type et valeur des prises de terre ;
- justification des dimensions de la prise de terre lorsque la valeur est supérieure à 10  $\Omega$ .

### 8.2 Ordre des vérifications

Les phases des vérifications sont effectuées :

- initialement, à l'achèvement du SPF à dispositif d'amorçage ;
- périodiquement, selon les critères du Tableau 7 ;
- à chaque fois que la structure protégée est modifiée, réparée ou lorsque la structure a été touchée par la foudre.

NOTE 1 Au niveau de protection I et II, une vérification complète est réalisée après chaque impact constaté.

**Tableau 7 – Périodicité de vérification relative au niveau de protection**

Niveau de protection	Vérification visuelle (année)	Vérification complète (année)	Vérification complète des systèmes critiques (année)
I et II	1	2	1
III et IV	2	4	1

NOTE Pour les structures avec risque d'explosion, une vérification complète est suggérée tous les 6 mois. Il convient d'effectuer une vérification complète une fois par an.

Une exception acceptable à l'essai annuel peut être un cycle de 14 à 15 mois lorsqu'il est considéré avantageux d'effectuer des mesures de prise de terre en diverses saisons.

NOTE 2 Les coups de foudre peuvent être enregistrés par un compteur de coups de foudre installé au niveau d'un des conducteurs de descente.

NOTE 3 Si les autorités nationales ou institutions imposent des vérifications périodiques des installations électriques d'une structure, il est recommandé de vérifier en même temps l'ensemble des mesures de protection intérieur, y compris l'équipotentialité foudre.

NOTE 4 Il convient que les anciennes installations soient liées à un niveau de protection et que les cycles de vérification respectent les spécifications locales ou toutes autres spécifications de vérification telles que notices des constructeurs, réglementations techniques, instructions, sécurité de l'industrie et protection des travailleurs.

NOTE 5 Un système critique peut être défini par la réglementation ou par l'utilisateur.

### 8.3 Rapport de vérification

Il convient que chaque vérification périodique soit consignée avec un rapport détaillé faisant état de tous les résultats de la vérification et des mesures correctives à prendre.

### 8.4 Vérification initiale

La vérification initiale est effectuée après la fin des travaux d'installation du SPF à dispositif d'amorçage.

Son objectif est de s'assurer que la totalité de l'installation du SPF à dispositif d'amorçage est conforme au présent document, ainsi qu'au dossier d'exécution.

Cette vérification porte au moins sur les points suivants :

- le PDA se trouve à au moins 2 m au-dessus de tout objet situé dans la zone protégée ;
- le PDA a les caractéristiques indiquées dans le dossier d'exécution ;
- le nombre de conducteurs de descente ;
- la conformité des composants du SPF à dispositif d'amorçage au présent document, aux normes de la série NF EN 50164, NF EN 61643, par marquage par déclaration ou par documentation ;
- le cheminement, emplacement et continuité électrique des conducteurs de descente ;
- la fixation des différents composants ;
- les distances de séparation et/ou liaisons équipotentielles ;
- la résistance des prises de terre ;
- l'équipotentialité de la prise de terre du SPF avec celle du bâtiment.

Dans tous les cas, lorsqu'un conducteur est partiellement ou totalement intégré, il convient que sa continuité électrique soit vérifiée.

### 8.5 Vérification visuelle

Il convient de procéder à une inspection visuelle afin de s'assurer que :

- aucun dommage relatif à la foudre n'est relevé ;
- l'intégrité du PDA n'est pas modifiée ;
- aucune extension ou modification de la structure protégée ne requiert l'application de mesures complémentaires de protection contre la foudre ;
- la continuité électrique des conducteurs visibles est correcte ;
- toutes les fixations des composants et toutes les protections mécaniques sont en bon état ;
- aucune pièce n'a été détériorée par la corrosion ;
- la distance de séparation est respectée, le nombre de liaisons équipotentielles est suffisant et leur état est correct ;
- l'indicateur de fin de vie des dispositifs des parafoudres est correct ;
- les résultats des opérations de maintenance sont contrôlés et consignés (voir 8.7).



### **8.6 Vérification complète**

Une vérification complète comprend les inspections visuelles et les mesures suivantes pour vérifier :

- la continuité électrique des conducteurs intégrés ;
- les valeurs de résistance de la prise de terre (il convient d'analyser toutes les variations supérieures à 50 % par rapport à la valeur initiale) ;
- le bon fonctionnement du PDA selon la méthodologie fournie par le fabricant.

NOTE Une mesure de terre à haute fréquence est possible lors de la réalisation du système de prise de terre ou en phase de la maintenance afin de vérifier la cohérence entre le système de prise de terre réalisé et le besoin.

### **8.7 Maintenance**

Il est recommandé de corriger tous les défauts constatés dans le SPF à dispositif d'amorçage lors d'une vérification dès que possible afin de maintenir une efficacité optimale.

Les consignes de maintenance des composants et des dispositifs de protection sont à appliquer conformément aux instructions des manuels du fabricant.

## **Annexe A** (normative) **Évaluation du risque**

### **A.1 Explication des termes**

#### **A.1.1 Dommages et pertes**

##### **A.1.1.1 Source de dommage**

Le courant de foudre est la source principale des dommages. Les sources suivantes sont distinguées en fonction de l'emplacement du point d'impact (voir Tableau A.1) :

- S1 : impacts sur une structure ;
- S2 : impacts à proximité d'une structure ;
- S3 : impacts sur un service ;
- S4 : impacts à proximité d'un service.

##### **A.1.1.2 Types de dommages**

Un coup de foudre peut entraîner des dommages qui sont fonction des caractéristiques de l'objet à protéger. Parmi les caractéristiques les plus importantes, on distingue : le type de construction, le contenu et ses applications, le type de service et les mesures de protection prises.

Pour des applications pratiques de l'évaluation du risque, il est utile de distinguer trois types essentiels de dommages pouvant apparaître à la suite d'un coup de foudre. Ces types sont les suivants (voir Tableau A.1) :

- D1 : blessures d'être vivants ;
- D2 : dommages physiques ;
- D3 : défaillance des réseaux électriques et électroniques.

Les dommages dus à la foudre peuvent être limités à une partie de la structure ou peuvent s'étendre à l'ensemble de celle-ci. Ils peuvent même impliquer les structures environnantes ou l'environnement (par exemple, émissions chimiques ou radioactives).

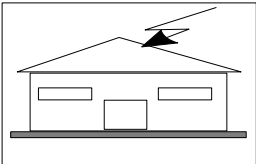
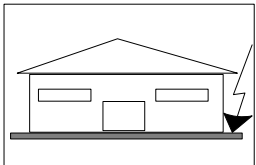
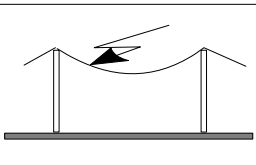
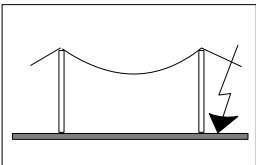
Un coup de foudre affectant un service peut entraîner des dommages sur le support physique lui-même (réseau ou canalisation) utilisé pour l'alimentation du service ainsi que sur un réseau électrique ou électronique associé. Ces dommages peuvent aussi s'étendre aux réseaux internes connectés au service.

##### **A.1.1.3 Types de pertes**

Chaque type de dommage, seul ou associé aux autres, peut entraîner des pertes consécutives différentes dans l'objet à protéger. Le type de perte pouvant apparaître dépend des caractéristiques de l'objet lui-même et de son contenu. Les types de pertes suivants doivent être pris en compte (voir Tableau A.1) :

- L1 : perte de vie humaine ;
- L2 : perte de service public ;
- L3 : perte d'héritage culturel ;
- L4 : perte de valeurs économiques (structure et son contenu).

**Tableau A.1 – Sources de dommages, types de dommages et types de pertes en fonction du point d'impact**

Point d'impact	Source de dommage	Structure	
		Dommage	Type de pertes
	S1	D1 D2 D3	L1, L4 <sup>2)</sup> L1, L2, L3, L4 L1 <sup>1)</sup> , L2, L4
	S2	D3	L1 <sup>1)</sup> , L2, L4
	S3	D1 D2 D3	L1, L4 <sup>2)</sup> L1, L2, L3, L4 L1 <sup>1)</sup> , L2, L4
	S4	D3	L1 <sup>1)</sup> , L2, L4
<p>1) Seulement dans le cas de structures présentant des risques d'explosion et dans les hôpitaux ou autres structures dans lesquelles des défaillances de réseaux internes peuvent entraîner des dangers mortels.</p> <p>2) Seulement dans le cas où des pertes d'animaux peuvent survenir.</p>			

## A.1.2 Risque et composantes des risques

### A.1.2.1 Risque

Le risque  $R$  est la mesure d'une perte annuelle moyenne probable. Pour chaque type de perte qui peut apparaître dans une structure ou dans un service, le risque correspondant doit être évalué.

Les risques à évaluer dans une structure peuvent être les suivants :

- $R_1$  : risque de perte de vie humaine ;
- $R_2$  : risque de perte de service public ;
- $R_3$  : risque de perte d'héritage culturel ;
- $R_4$  : risque de perte de valeurs économiques.

Pour évaluer les risques,  $R$ , les composantes appropriées du risque (risques partiels dépendant de la source et du type de dommage) doivent être définies et calculées.

Chaque risque,  $R$ , est la somme des risques qui le composent. Lorsqu'on les ajoute, les composantes du risque peuvent être groupées en fonction de la source et du type des dommages.

#### **A.1.2.2 Composantes des risques pour une structure dus aux impacts sur la structure**

- $R_A$  : composante liée aux blessures d'êtres vivants dues aux tensions de contact et de pas dans les zones jusqu'à 3 m à l'extérieur de la structure. Des pertes de type L1 et dans le cas de structures abritant le bétail ;

NOTE 1 La composante du risque causé par les tensions de contact et de pas à l'intérieur de la structure dû aux impacts sur la structure n'est pas prise en compte dans le présent document.

NOTE 2 Dans des structures particulières, des personnes peuvent être soumises à des coups de foudre directs (par exemple, niveau supérieur d'un garage ou d'un stade). Ces cas peuvent être traités au sein du concept du présent document.

- $R_B$  : composante liée aux dommages physiques d'un étincelage dangereux dans la structure entraînant un incendie ou une explosion pouvant produire des dangers pour l'environnement. Tous les types de pertes (L1, L2, L3) peuvent apparaître ;
- $R_C$  : composante liée aux défaillances des réseaux internes causées par l'IEMF. Des pertes de type L2 pourraient apparaître dans tous les cas avec le type L1, dans le cas des structures présentant un risque d'explosion, et dans des hôpitaux ou d'autres structures dans lesquelles des défaillances des réseaux internes mettent immédiatement en danger la vie des personnes.

#### **A.1.2.3 Composante des risques pour une structure dus aux impacts à proximité de la structure**

- $R_M$  : composante liée aux défaillances des réseaux internes causées par l'IEMF. Des pertes de type L2 pourraient apparaître dans tous les cas avec le type L1, dans le cas des structures présentant un risque d'explosion, et dans des hôpitaux ou d'autres structures dans lesquelles des défaillances des réseaux internes mettent immédiatement en danger la vie des personnes.

#### **A.1.2.4 Composantes des risques pour une structure dus aux impacts sur un service connecté à la structure**

- $R_U$  : composante liée aux blessures d'êtres vivants dues aux tensions de contact à l'intérieur de la structure en raison du courant de foudre injecté dans une ligne entrante. Des pertes de type L1 et dans le cas de domaines agricoles ;
- $R_V$  : composante liée aux dommages physiques (incendie ou explosion dus à un étincelage dangereux entre une installation extérieure et les parties métalliques généralement situées au point de pénétration de la ligne dans la structure) dus au courant de foudre transmis dans les lignes entrantes. Tous les types de pertes (L1, L2, L3) peuvent apparaître ;

- $R_W$  : composante liée aux défaillances des réseaux internes en raison des surtensions induites sur les lignes entrantes et transmises à la structure. Des pertes de type L2 pourraient apparaître dans tous les cas avec le type L1, dans le cas des structures présentant un risque d'explosion, et dans des hôpitaux ou d'autres structures dans lesquelles des défaillances des réseaux internes mettent immédiatement en danger la vie des personnes.

NOTE Les seuls services à considérer sont les lignes pénétrant dans la structure. Les coups de foudre sur ou à proximité de canalisations n'entraînent pas de dommages dans la structure si elles sont connectées à la borne principale de terre de la structure. Si une borne d'équipotentialité n'est pas prévue, il faut considérer une telle menace.

#### A.1.2.5 Composante des risques pour une structure dus à un impact à proximité d'un service connecté à la structure

- $R_Z$  : composante liée aux défaillances des réseaux internes en raison des surtensions induites sur les lignes entrantes et transmises à la structure. Des pertes de type L2 pourraient apparaître dans tous les cas avec le type L1, dans le cas des structures présentant un risque d'explosion, et dans des hôpitaux ou d'autres structures dans lesquelles des défaillances des réseaux internes mettent immédiatement en danger la vie des personnes.

NOTE Les seuls services à considérer sont les lignes pénétrant dans la structure. Les coups de foudre sur ou à proximité de canalisations n'entraînent pas de dommages dans la structure si elles sont connectées à la borne principale de terre de la structure. Si une borne d'équipotentialité n'est pas prévue, il faut considérer une telle menace.

#### A.1.3 Compositions des composantes de risque liées à la structure

Les composantes des risques à prendre en compte pour chaque type de perte dans une structure sont données ci-dessous :

- $R_1$  : risque de perte de vie humaine :

$$R_1 = R_A + R_B + R_C^{1)} + R_M^{1)} + R_U + R_V + R_W^{1)} + R_Z^{1)} \quad (\text{A.1})$$

1) Uniquement pour les structures présentant un risque d'explosion et pour les hôpitaux équipés de matériels de réanimation électriques ou autres structures, lorsque les défaillances des réseaux internes mettent immédiatement en danger la vie des personnes.

- $R_2$  : risque de perte de service public :

$$R_2 = R_B + R_C + R_M + R_V + R_W + R_Z \quad (\text{A.2})$$

- $R_3$  : risque de perte d'héritage culturel :

$$R_3 = R_B + R_V \quad (\text{A.3})$$

- $R_4$  : risque de perte de valeurs économiques :

$$R_4 = R_A^{2)} + R_B + R_C + R_M + R_U^{2)} + R_V + R_W + R_Z \quad (\text{A.4})$$

2) Seulement dans le cas où des pertes d'animaux peuvent survenir.

Les composantes de risques correspondant à chaque type de perte sont également combinées dans le Tableau A.2.

**Tableau A.2 – Composantes de risques à prendre en compte pour chaque type de perte dans une structure**

Source de dommage	Impact sur la structure S1			Impact à proximité de la structure S2	Impact sur un service connecté à la structure S3			Impact à proximité d'un service connecté à la structure S4
	$R_A$	$R_B$	$R_C$		$R_U$	$R_V$	$R_W$	
Composante du risque								
Risque pour chaque type de perte								
$R_1$	*	*	*1)	*1)	*	*	*1)	*1)
$R_2$		*	*	*		*	*	*
$R_3$		*				*		
$R_4$	* 2)	*	*	*	* 2)	*	*	*
<p>1) Seulement dans le cas de structures présentant des risques d'explosion et dans les hôpitaux ou autres structures dans lesquelles des défaillances de réseaux internes peuvent entraîner des dangers mortels.</p> <p>2) Seulement dans le cas où des pertes d'animaux peuvent survenir.</p>								

## A.2 Evaluation des risques

### A.2.1 Procédure de base

La procédure suivante doit être utilisée :

- identification de l'objet à protéger et de ses caractéristiques ;
- identification de tous les types de pertes dans l'objet et du risque associé  $R$  ( $R_1$  à  $R_4$ ) ;
- évaluation du risque  $R$  pour chaque type de perte ( $R_1$  à  $R_4$ ) ;
- évaluation de la nécessité de protection en comparant les risques  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$  pour une structure avec le risque tolérable  $R_T$  ;
- évaluation des impacts économiques d'une protection en comparant le coût des pertes totales avec et sans mesures de protection. Dans ce cas, l'évaluation des composantes de risque  $R_4$  pour une structure doit être exécutée afin d'évaluer ces frais.

### A.2.2 Structure à prendre en compte pour l'évaluation du risque

La structure à protéger comprend :

- la structure elle-même ;
- les installations dans la structure ;
- le contenu de la structure ;
- les personnes dans la structure ou se trouvant dans les zones jusqu'à 3 m de l'extérieur de la structure ;
- l'environnement affecté par un dommage sur une structure.

La protection n'englobe pas les services connectés à l'extérieur de la structure.

NOTE La structure à considérer peut être subdivisée en plusieurs zones (voir A.3.7).

### A.2.3 Risque tolérable $R_T$

Il est de la responsabilité de l'autorité de juridiction d'identifier la valeur du risque tolérable.

Des valeurs représentatives du risque tolérable  $R_T$ , lorsque les coups de foudre impliquent des pertes humaines ou des pertes de valeurs sociales ou culturelles, sont données dans le Tableau A.3.

**Tableau A.3 – Valeurs types pour le risque tolérable  $R_T$**

Types de pertes	$R_T (y^{-1})$
Perte de vie humaine ou blessures permanentes	$10^{-5}$
Perte de service public	$10^{-3}$
Perte d'héritage culturel	$10^{-3}$

### A.2.4 Procédure pour évaluer le besoin de protection

Les risques suivants doivent être pris en compte pour évaluer la nécessité de protection d'un objet contre la foudre :

- risques  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$  pour une structure.

Pour chacun des risques à considérer, les étapes suivantes doivent être suivies :

- identification des composantes  $R_X$  constituant le risque ;
- calcul des composantes de risque identifiés  $R_X$  ;
- calcul du risque total  $R$  (voir A.1.2) ;
- identification du risque tolérable  $R_T$  ;
- comparaison du risque  $R$  avec la valeur tolérable  $R_T$ .

si :  $R \leq R_T$ , la protection contre la foudre n'est pas nécessaire.

si :  $R > R_T$  des mesures de protection doivent être adoptées afin de réduire  $R \leq R_T$  pour tous les risques auxquels l'objet est soumis.

### A.2.5 Procédure d'évaluation des impacts économiques de la protection

En plus de la nécessité d'une protection contre la foudre pour une structure ou pour un service, il peut être utile de s'assurer des bénéfices économiques de mise en œuvre de mesures de protection afin de réduire la perte économique  $L_4$ .

L'évaluation des composantes du risque  $R_4$  pour une structure permet à l'utilisateur d'évaluer le coût des pertes économiques avec ou sans mesures de protection.

La méthode d'évaluation des impacts économiques d'une protection nécessite :

- l'identification des composantes  $R_x$  constituant le risque  $R_4$  pour une structure ;
- le calcul des composantes du risque  $R_x$  identifiés, en l'absence de mesures de protection nouvelles ou supplémentaires ;
- le calcul du coût des pertes dû à chacune des composantes  $R_x$  ;
- le calcul du coût  $C_L$  de la perte totale en l'absence de mesures de protection ;
- l'adoption des mesures de protection sélectionnées ;
- le calcul des composantes du risque  $R_x$  en présence de mesures de protection sélectionnées ;
- le calcul du coût des pertes résiduelles dû à chacune des composantes du risque  $R_x$  dans la structure ou le service protégé ;
- le calcul du coût total  $C_{RL}$  des pertes résiduelles en présence des mesures de protection ;
- le calcul du coût annuel  $C_{PM}$  des mesures de protection sélectionnées ;
- la comparaison des coûts.

si :  $C_L < C_{RL} + C_{PM}$ , la protection contre la foudre peut ne pas être jugée rentable.

si :  $C_L \geq C_{RL} + C_{PM}$ , les mesures de protection peuvent s'avérer économiques sur la durée de vie de la structure ou du service.

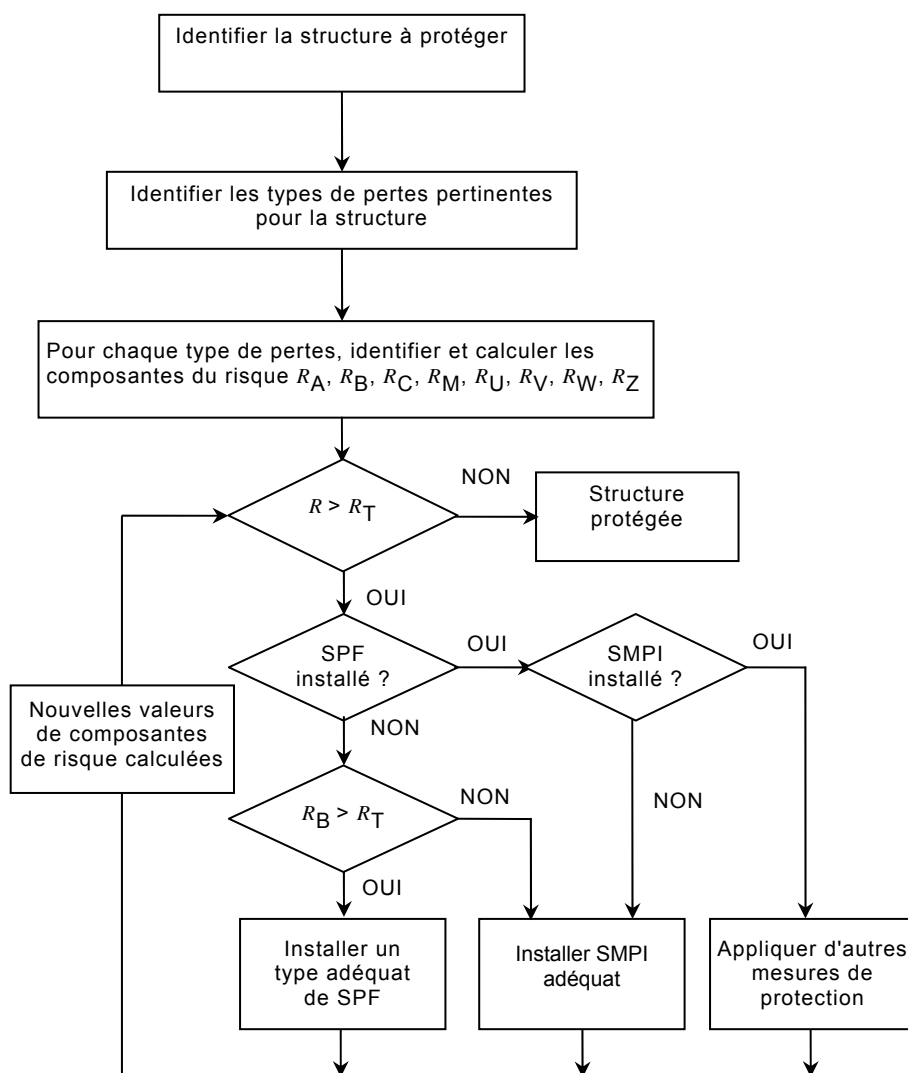
#### **A.2.6 Choix des mesures de protection**

Le choix des mesures de protection les plus adaptées doit être effectué par le concepteur selon la répartition de chaque composante de risque du risque total  $R$  et selon les aspects techniques et économiques des diverses mesures de protection.

Les paramètres critiques doivent être identifiés afin de déterminer la mesure la plus efficace de réduction du risque  $R$ .



Pour chaque type de perte, plusieurs mesures de protection individuelles ou associées rendent la condition  $R \leq R_T$ . La solution à adopter doit être choisie à partir de cette condition en tenant compte des aspects techniques et économiques. Une méthode simplifiée de choix de mesures de protection est indiquée dans le schéma de la Figure A.1 pour les structures. Dans tous les cas, il convient que l'installateur et l'architecte identifient les composantes du risque les plus critiques et les réduisent, en tenant compte des aspects économiques.



**Figure A.1 – Procédure pour le choix des mesures de protection dans les structures**

### A.3 Evaluation des composantes du risque pour les structures

#### A.3.1 Equation de base

Chaque composante du risque  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_C$ ,  $R_M$ ,  $R_U$ ,  $R_V$ ,  $R_W$  et  $R_Z$ , telles que décrites dans A.1, peut être exprimée par l'équation générale suivante :

$$R_X = N_X \times P_X \times L_X \quad (\text{A.5})$$

où :

- $N_X$  : est le nombre annuel d'événements dangereux (voir aussi A.4) ;
- $P_X$  : est la probabilité de dommages pour une structure (voir aussi A.5) ;
- $L_X$  : est la perte consécutive (voir aussi A.6).

NOTE 1 Le nombre  $N_X$  d'événements dangereux est affecté par : la densité de foudroiement ( $N_g$ ) et par les caractéristiques de l'objet à protéger, son entourage, le sol.

NOTE 2 La probabilité de dommage  $P_X$  est affectée par : les caractéristiques de l'objet à protéger et les mesures de protection fournies.

NOTE 3 La perte consécutive  $L_X$  est affectée par : l'utilisation assignée à l'objet, la présence de personnes, le type de service fourni au public, la valeur des biens affectés par les dommages et les mesures fournies pour limiter le montant des pertes.

#### A.3.2 Evaluation des composantes du risque dû aux impacts sur une structure (S1)

Pour l'évaluation des composantes de risque associées aux impacts de foudre sur la structure, les relations suivantes s'appliquent :

- composantes associées aux blessures sur des êtres vivants (D1)

$$R_A = N_D \times P_A \times L_A \quad (\text{A.6})$$

- composantes associées aux dommages physiques (D2)

$$R_B = N_D \times P_B \times L_B \quad (\text{A.7})$$

- composantes associées aux défaillances des réseaux internes (D3)

$$R_C = N_D \times P_C \times L_C \quad (\text{A.8})$$

#### A.3.3 Evaluation des composantes du risque dû aux impacts à proximité de la structure (S2)

Pour l'évaluation des composantes de risque associées aux impacts de foudre à proximité de la structure, les relations suivantes s'appliquent :

- composantes associées aux défaillances des réseaux internes (D3)

$$R_M = N_M \times P_M \times L_M \quad (\text{A.9})$$

#### A.3.4 Evaluation des composantes du risque dû aux impacts sur une ligne connectée à la structure (S3)

Pour l'évaluation des composantes de risque associées aux impacts de foudre sur une ligne entrante, les relations suivantes s'appliquent :

- composantes associées aux blessures sur des êtres vivants (D1)

$$R_U = (N_L + N_{Da}) \times P_U \times L_U \quad (A.10)$$

- composantes associées aux dommages physiques (D2)

$$R_V = (N_L + N_{Da}) \times P_V \times L_V \quad (A.11)$$

- composantes associées aux défaillances des réseaux internes (D3)

$$R_W = (N_L + N_{Da}) \times P_W \times L_W \quad (A.12)$$

Si la ligne présente plusieurs sections, les valeurs de  $R_U$ ,  $R_V$  et  $R_W$  sont la somme des valeurs  $R_U$ ,  $R_V$  et  $R_W$  pertinentes pour chaque section de la ligne. Les sections à considérer sont celles entre la structure et le premier nœud de la distribution.

Dans le cas de structures avec plusieurs lignes connectées avec des cheminements différents, les calculs doivent être effectués pour chaque ligne.

#### A.3.5 Evaluation de la composante du risque dû aux impacts à proximité d'une ligne connectée à la structure (S4)

Pour l'évaluation des composantes de risque associées aux impacts de foudre à proximité d'une ligne connectée à la structure, les relations suivantes s'appliquent :

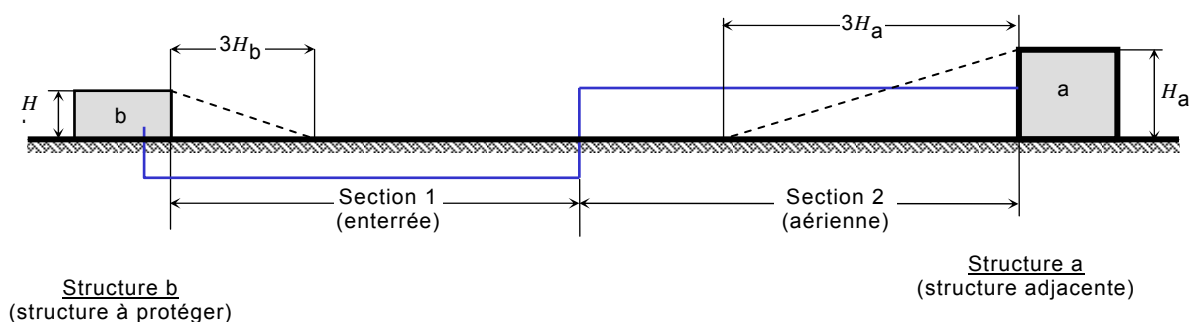
- composantes associées aux défaillances des réseaux internes (D3)

$$R_Z = (N_I - N_L) \times P_Z \times L_Z \quad (A.13)$$

Si la ligne présente plusieurs sections, la valeur de  $R_Z$  est la somme des composants  $R_Z$  pertinents pour chaque section de la ligne. Les sections à considérer sont celles entre la structure et le premier nœud de la distribution.

Dans le cas de structures avec plusieurs lignes connectées avec des cheminements différents, les calculs doivent être effectués pour chaque ligne.

Dans le cadre de cette évaluation, si  $(N_I - N_L) < 0$ , alors on estime que  $(N_I - N_L) = 0$ .



CEI 2086/05

**Figure A.2 – Structures aux extrémités de lignes : à l'extrémité «b» d'une structure à protéger (structure b) et à l'extrémité «a» d'une structure adjacente (structure a)**

### A.3.6 Synthèse des composantes du risque dans une structure

Les composantes des risques dans les structures sont récapitulées dans le Tableau A.4, en fonction des différents types de dommages et des différentes sources de dommages.

**Tableau A.4 – Composantes du risque dans une structure pour différents types de dommages causés par différentes sources**

Source de dommage Dommage	S1 Impact sur une structure	S2 Impact à proximité d'une structure	S3 Impact sur un service entrant	S4 Impact à proximité d'un service
D1 Blessures d'êtres vivants	$R_A = N_D \times P_A \times r_a \times L_t$		$R_U = (N_L + N_{Da}) \times P_U \times r_U \times L_t$	
D2 Dommages physiques	$R_B = N_D \times P_B \times r_p \times h_z \times r_f \times L_f$		$R_V = (N_L + N_{Da}) \times P_V \times r_p \times h_z \times r_f \times L_f$	
D3 Défaillance des réseaux électriques et électroniques	$R_C = N_D \times P_C \times L_o$	$R_M = N_M \times P_M \times L_o$	$R_W = (N_L + N_{Da}) \times P_W \times L_o$	$R_Z = (N_I - N_L) \times P_Z \times L_o$

Si la structure est divisée en zones  $Z_S$  (voir A.3.7), chaque composante de risque doit être évaluée pour chaque zone  $Z_S$ .

Le risque total  $R$  de la structure est la somme des composantes de risques associées aux zones  $Z_S$  qui constituent la structure.

### A.3.7 Partition d'une structure en zones $Z_S$

Pour évaluer chaque composante du risque, la structure peut être divisée en parties présentant des caractéristiques homogènes (zones)  $Z_S$ . Toutefois, une structure peut être une zone unique ou être estimée comme telle.

Les zones  $Z_S$  sont essentiellement définies par :

- le type de sol ou de plancher (composantes de risque  $R_A$  et  $R_U$ ) ;
- les compartiments à l'épreuve du feu (composantes du risque  $R_B$  et  $R_V$ ) ;
- les écrans spatiaux (composantes du risque  $R_C$  et  $R_M$ ).

D'autres zones peuvent être définies selon :

- la disposition des réseaux internes (composantes du risque  $R_C$  et  $R_M$ ) ;
- des mesures de protection existantes ou à prévoir (toutes les composantes du risque) ;
- des valeurs de pertes  $L_X$  (toutes les composantes du risque).

Il convient que la partition de la structure en zones  $Z_S$  tienne compte de la faisabilité des mesures de protection les plus appropriées.

### A.3.8 Evaluation des composantes de risque dans une structure avec des zones $Z_S$

Les règles pour évaluer les composantes de risque sont fonction du type de risque.

#### A.3.8.1 Risques $R_1$ , $R_2$ , $R_3$ et $R_4$

##### A.3.8.1.1 Structure avec une seule zone

Dans ce cas, seule une zone  $Z_S$  composée de l'ensemble de la structure est définie. Conformément à A.3.7, le risque  $R$  est la somme des composantes du risque  $R_X$  dans la structure. Pour l'évaluation des composantes de risque et le choix des paramètres appropriés, les règles suivantes s'appliquent :

- les paramètres relatifs au nombre  $N$  d'événements dangereux doivent être calculés conformément à A.4 ;
- les paramètres relatifs à la probabilité  $P$  de dommage doivent être calculés conformément à A.5 ;

de plus :

- pour les composantes  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_U$ ,  $R_V$ ,  $R_W$  et  $R_Z$ , seule une valeur doit être fixée pour chaque paramètre impliqué. Si plusieurs valeurs sont applicables, la valeur la plus élevée doit être choisie ;
- pour les composantes  $R_C$  et  $R_M$ , si plusieurs systèmes internes sont impliqués dans la zone, les valeurs de  $P_C$  et  $P_M$  sont obtenues comme suit :

$$P_C = 1 - (1 - P_{C1}) \times (1 - P_{C2}) \times (1 - P_{C3}) \quad (\text{A.14})$$

$$P_M = 1 - (1 - P_{M1}) \times (1 - P_{M2}) \times (1 - P_{M3}) \quad (\text{A.15})$$

où  $P_{Ci}$  et  $P_{Mi}$  sont des paramètres pertinents pour le système interne  $i$ .

- pour les paramètres relatifs aux pertes  $L$ , on doit calculer  $L$  conformément à A.6.  
Les valeurs moyennes types de A.6 peuvent être prises par défaut pour la zone selon l'utilisation de la structure.

A l'exception de  $P_C$  et  $P_M$ , si plus d'une valeur de tout autre paramètre existe dans une zone, la valeur du paramètre conduisant à la valeur la plus élevée du risque doit être prise.

Le fait de supposer une seule zone dans la structure peut conduire à des mesures de protection onéreuses car il faut étendre chaque mesure à l'ensemble de la structure.

#### **A.3.8.1.2 Structure à zones multiples**

Dans ce cas, la structure est divisée en zones  $Z_S$ . Le risque pour la structure est la somme des risques relatifs à toutes les zones de la structure ; dans chaque zone, le risque est la somme des composantes de risque de la zone.

Pour l'évaluation des composantes de risque et le choix des paramètres appropriés, les règles de A.3.8.1.1 s'appliquent.

Pour la répartition de la structure en zones, le concepteur doit prendre en compte les caractéristiques de chaque partie de la structure pour l'évaluation des composantes de risque et doit choisir les mesures de protection appropriées zone par zone, afin de réduire le coût total de la protection contre la foudre.

### **A.4 Evaluation du nombre annuel $N$ d'événements dangereux**

#### **A.4.1 Généralités**

Le nombre annuel  $N$  de coups de foudre dangereux intéressant un objet à protéger dépend de l'activité orageuse de la région où se situe l'objet et de ses caractéristiques physiques. Il est généralement admis d'évaluer le nombre  $N$  en multipliant la densité de foudroiement  $N_g$  par la surface équivalente de l'objet et en prenant en compte le facteur de correction des caractéristiques physiques de l'objet.

La densité de foudroiement  $N_g$ , est le nombre de coups par  $\text{km}^2$  et par an. Cette valeur peut être obtenue auprès des réseaux de localisation des coups de foudre au sol dans la plupart des régions du monde.

NOTE Si la carte de  $N_g$  n'est pas disponible, il peut être estimé, dans les régions tempérées, comme suit :

$$N_g \approx 0,1 T_d \quad (\text{A16})$$

où  $T_d$  est le nombre de jours d'orage par an (peut être obtenu à partir des cartes kérauniques).

Les événements qui peuvent être considérés comme dangereux pour une structure à protéger sont :

- les impacts sur la structure ;
- les impacts à proximité de la structure ;
- les impacts sur un service entrant ;
- les impacts à proximité d'un service entrant ;
- les impacts sur une structure connectée à un service.

Une méthode simplifiée pourrait être appliquée uniquement pour la structure où :

- le risque d'incendie est faible ou ordinaire ;
- le risque d'incendie est élevé, mais avec un niveau de panique bas ;
- il n'existe aucun risque d'explosion ;
- il n'existe aucun risque pour l'environnement ;
- il ne s'agit pas d'un hôpital.

## A.4.2 Evaluation du nombre annuel moyen des événements dangereux dus aux coups de foudre sur une structure $N_D$ et sur une structure connectée à l'extrémité «a» d'une ligne $N_{Da}$

### A.4.2.1 Détermination de la surface équivalente $A_d$

Pour des structures isolées en terrain plat, la surface équivalente d'exposition  $A_d$  est la zone définie par l'intersection entre la surface du sol et une droite avec une pente d'1/3 qui passe par les parties les plus élevées de la structure (en les touchant à cet endroit) et en tournant autour de celle-ci. Une évaluation de  $A_d$  peut être réalisée par une méthode graphique ou mathématique.

#### A.4.2.1.1 Structure rectangulaire

Pour une structure rectangulaire isolée de longueur  $L$ , de largeur  $W$  et de hauteur  $H$  sur un sol plat, la surface équivalente d'exposition est égale à :

$$A_d = L \times W + 6 \times H \times (L + W) + 9 \times \pi \times (H)^2 \quad (\text{A.17})$$

avec :  $L$ ,  $W$  et  $H$  exprimés en mètres (voir la Figure A.4).

NOTE Une évaluation plus précise pourrait être obtenue en tenant compte de la hauteur relative de la structure par rapport aux objets qui l'entourent ou au sol à une distance de  $3H$  de la structure.

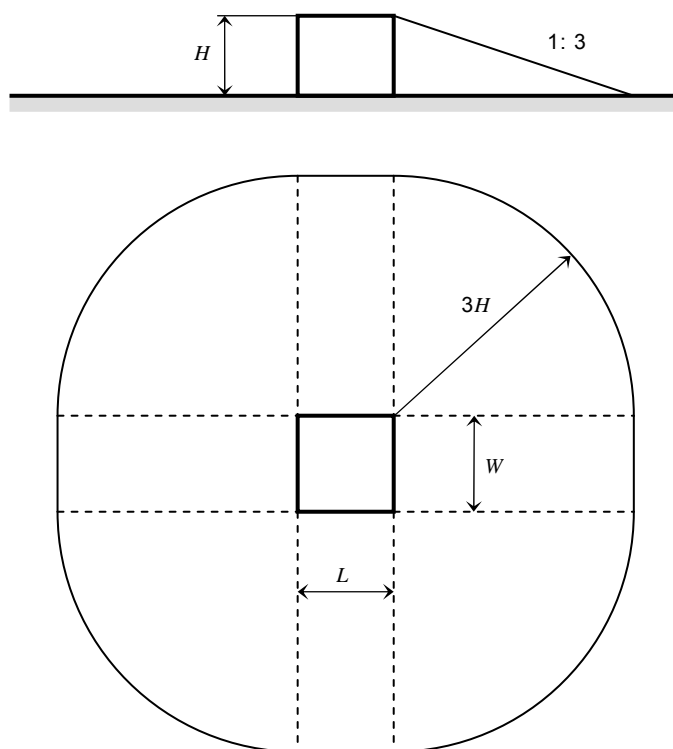


Figure A.3 – Surface équivalente d'exposition  $A_d$  d'une structure isolée

#### A.4.2.1.2 Structure complexe

Si la structure a une forme complexe, par exemple, avec toiture en pointe élevée (voir Figure A.4), il convient d'utiliser une méthode graphique pour évaluer  $A_d$  (voir Figure A.5), car les différences entre la dimension maximale ( $A_{dmax}$ ) et la dimension minimale ( $A_{dmin}$ ) peuvent se révéler trop importantes.

Une valeur approximative acceptable de la surface équivalente est le maximum entre  $A_{dmin}$  et la surface équivalente attribuée à la toiture en pointe élevée  $A_d'$ .  $A_d'$  peut être calculé comme suit :

$$A_d' = 9\pi \times (H_p)^2 \quad (A.18)$$

où  $H_p$  est la hauteur de la pointe.

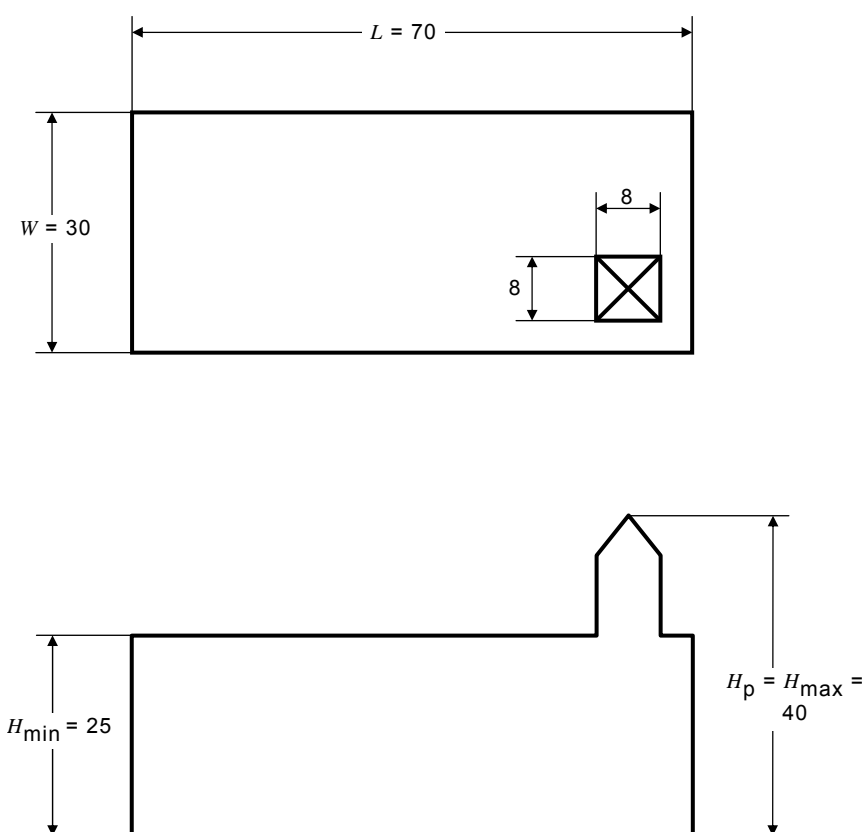
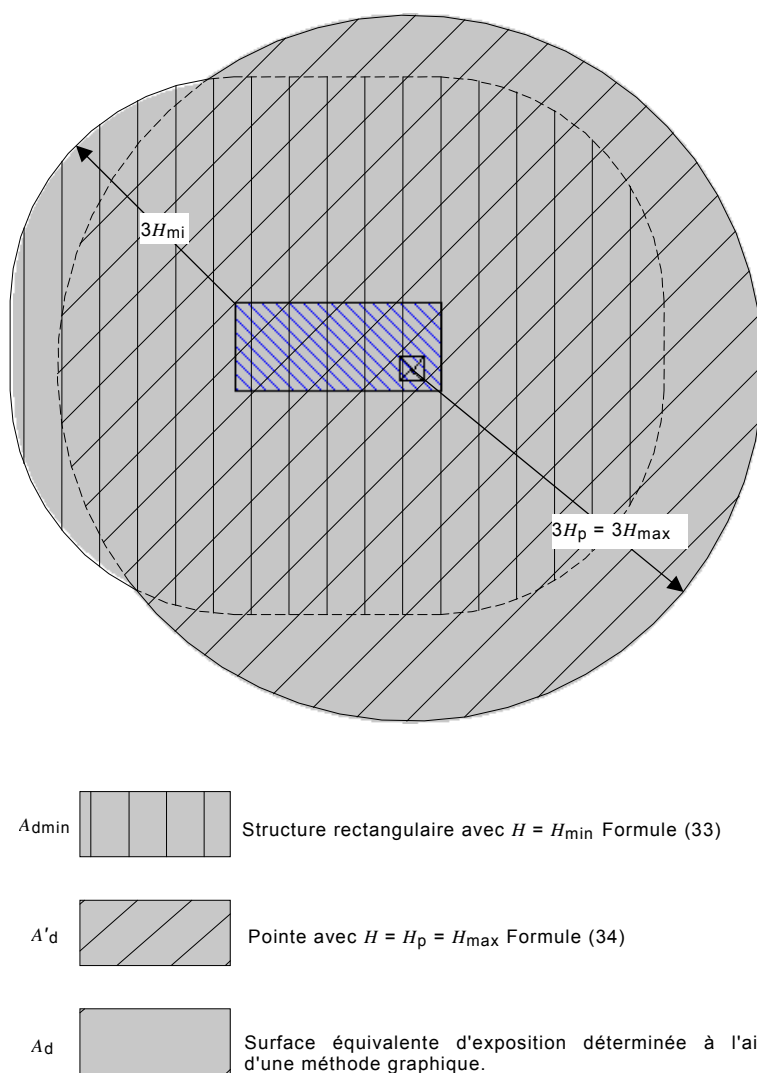


Figure A.4 – Structure de forme complexe





**Figure A.5 – Différentes méthodes de détermination de la zone équivalente d'exposition de la structure de la Figure A.4**

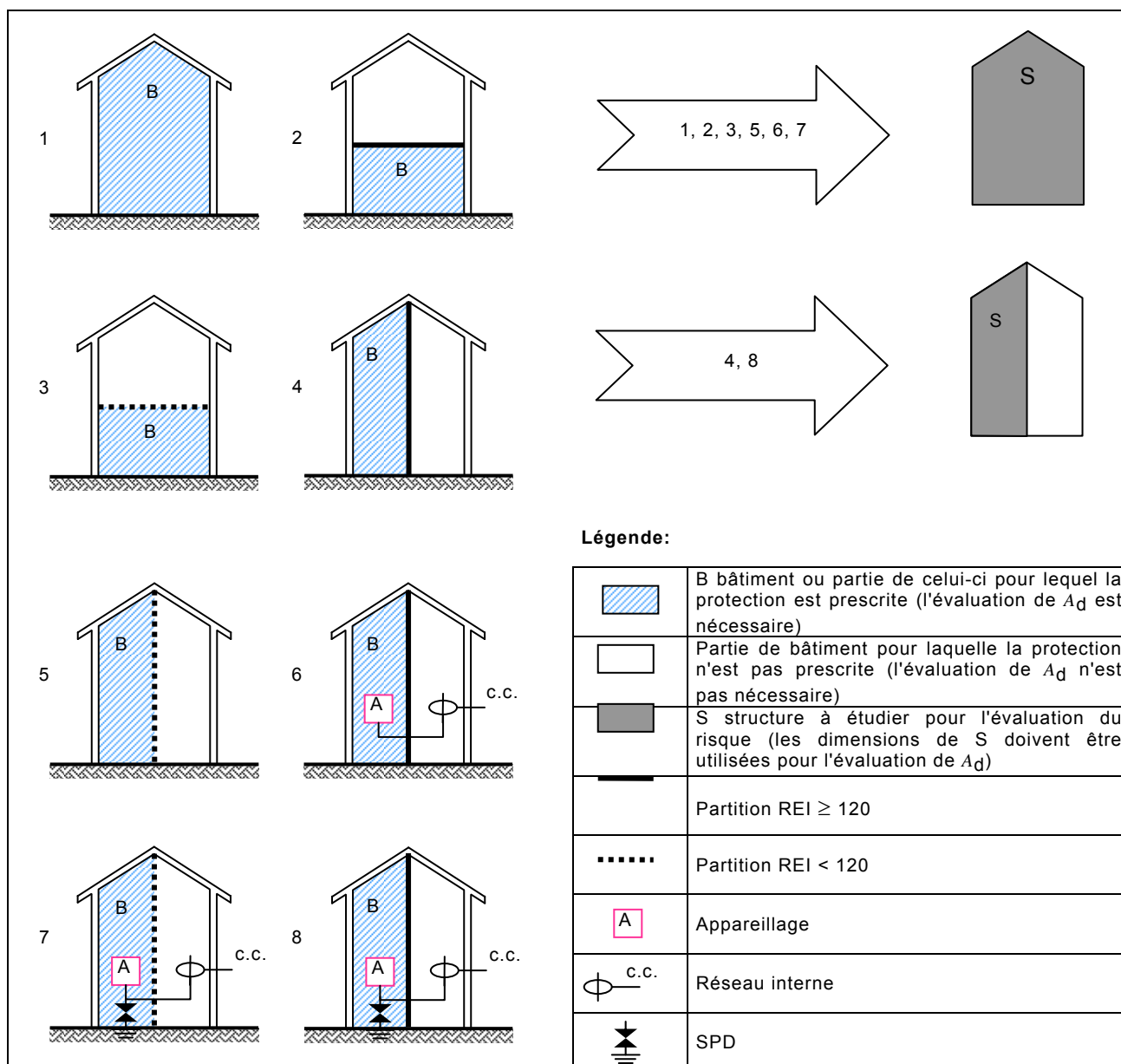
#### A.4.2.1.3 Structure faisant partie d'un bâtiment

Si la structure  $S$  à prendre en compte ne comprend qu'une partie d'un bâtiment  $B$ , les dimensions de la structure  $S$  peuvent être utilisées pour l'évaluation de  $A_d$  à condition que les conditions suivantes soient satisfaites (voir Figure A.6) :

- la structure  $S$  est une partie verticale séparée du bâtiment  $B$  ;
- le bâtiment  $B$  est une structure sans risque d'explosion ;
- la propagation du feu entre la structure  $S$  et d'autres parties du bâtiment  $B$  est évitée au moyen de parois présentant une résistance au feu de 120 min (REI 120) ou au moyen d'autres mesures de protection équivalente ;
- la propagation des surtensions le long des lignes communes, s'il y en a, est évitée au moyen d'un parafoudre installé au point d'entrée de telles lignes dans la structure ou au moyen d'autres mesures de protection équivalentes.

NOTE Pour la définition et des informations sur REI, voir le Journal Officiel des Communautés Européennes 1994/28/02, n.C 62/63.

Lorsque ces conditions ne sont pas satisfaites, il convient que les dimensions de l'ensemble du bâtiment  $B$  soient utilisées.



**Figure A.6 – Structure à considérer pour l'évaluation de la surface équivalente d'exposition  $A_d$**

#### A.4.2.2 Emplacement relatif d'une structure

L'emplacement relatif d'une structure dépend des objets environnants ou de l'exposition de la structure pris en compte par un facteur d'emplacement  $C_d$  (voir Tableau A.5).

**Tableau A.5 – Facteur d'emplacement  $C_d$**

Emplacement relatif	$C_d$
Objet entouré par des objets plus hauts ou des arbres	0,25
Objets entourés par des objets ou des arbres de la même hauteur ou plus petits	0,5
Objet isolé : pas d'autres objets à proximité	1
Objet isolé au sommet d'une colline ou sur un monticule	2

#### A.4.2.3 Nombre d'événements dangereux $N_D$ pour une structure (extrémité «b» d'un service)

$N_D$  peut être évalué comme le produit :

$$N_D = N_g \times A_{d/b} \times C_{d/b} \times 10^{-6} \quad (\text{A.19})$$

où :

$N_g$  est la densité de foudrolement (1/km<sup>2</sup>/an) ;

$A_{d/b}$  est la surface équivalente d'exposition de la structure isolée (m<sup>2</sup>) (voir Figure A.3) ;

$C_{d/b}$  est le facteur prenant en compte l'influence de l'emplacement relatif de l'objet à protéger (voir Tableau A.5).

#### A.4.2.4 Nombre d'événements dangereux $N_{Da}$ pour une structure adjacente (extrémité «a» d'un service)

Le nombre annuel moyen d'événements dangereux  $N_{Da}$  dus à des impacts sur une structure à l'extrémité «a» d'une ligne (voir A.3.5 et Figure A.2) peut être évalué comme le produit :

$$N_{Da} = N_g \times A_{d/a} \times C_{d/a} \times C_t \times 10^{-6} \quad (\text{A.20})$$

où :

$N_g$  est la densité de foudrolement (1/km<sup>2</sup>/an) ;

$A_{d/a}$  est la surface équivalente d'exposition de la structure adjacente isolée (m<sup>2</sup>) (voir Figure A.3) ;

$C_{d/a}$  est le facteur prenant en compte l'influence de l'emplacement de la structure adjacente (voir Tableau A.2) ;

$C_t$  est le facteur de correction dû à la présence d'un transformateur HT/BT sur le service auquel la structure est connectée, situé entre le point d'impact et la structure (voir Tableau A.4). Ce facteur s'applique aux sections de ligne en amont du transformateur par rapport à la structure.

#### A.4.3 Evaluation des événements annuels moyens dangereux dus aux coups de foudre à proximité d'une structure $N_M$

$N_M$  peut être évalué comme le produit :

$$N_M = N_g \times (A_m - A_{d/b} C_{d/b}) \times 10^{-6} \quad (\text{A.21})$$

où :

$N_g$  est la densité de foudrolement (coup/km<sup>2</sup>/an) ;

$A_m$  est la zone d'influence pour les impacts à proximité d'une structure (m<sup>2</sup>).

La zone d'influence d'une structure  $A_m$  s'étend jusqu'à une ligne distante de 250 m de la périphérie de la structure (voir Figure A.7).

If  $N_M < 0$ ,  $N_M = 0$  doit être utilisé pour l'évaluation.

#### A.4.4 Evaluation du nombre annuel moyen des événements dangereux dus aux coups de foudre sur un service $N_L$

Pour le service d'une seule section,  $N_L$ , peut être évalué par :

$$N_L = N_g \times A_l \times C_d \times C_t \times 10^{-6} \quad (\text{A.22})$$

où :

$N_g$  est la densité de foudrolement (coup/km<sup>2</sup>/an) ;

$A_l$  est la surface équivalente d'exposition des coups de foudre sur le service (m<sup>2</sup>) (voir Tableau A.3 et Figure A.7) ;

$C_d$  est le facteur d'emplacement du service (voir Tableau A.2) ;

$C_t$  est le facteur de correction dû à la présence d'un transformateur HT/BT situé entre le point d'impact et la structure (voir Tableau A.4). Ce facteur s'applique aux sections de ligne en amont du transformateur par rapport à la structure.

**Tableau A.6 – Zones équivalentes d'exposition  $A_l$  et  $A_i$  en fonction des caractéristiques du service**

	Aérienne	Enterrée
$A_l$	$(L_c - 3(H_a + H_b)) \sqrt{6 H_c}$	$(L_c - 3(H_a + H_b)) \sqrt{\rho}$
$A_i$	$1\,000 L_c$	$25 L_c \sqrt{\rho}$

où :

$A_l$  est la surface équivalente d'exposition des coups de foudre sur le service (m<sup>2</sup>) ;

$A_i$  est la surface équivalente d'exposition des coups de foudre au sol à proximité du service (m<sup>2</sup>) ;

$H_c$  est la hauteur des conducteurs de service au-dessus du sol (m) ;

$L_c$  est la longueur du service de la structure au premier nœud de distribution (m). Il convient qu'une valeur maximale  $L_c = 1\,000$  m soit supposée ;

$H_a$  est la hauteur de la structure connectée à l'extrémité «a» de service (m) ;

$H_b$  est la hauteur de la structure connectée à l'extrémité «b» de service (m) ;

$\rho$  est la résistivité du sol lorsque le service est enterré ( $\Omega\text{m}$ ). Il convient d'estimer la valeur maximale  $\rho = 500 \Omega\text{m}$ .

Pour les besoins de ce calcul :

- si la valeur de  $L_c$  est inconnue,  $L_c = 1\,000$  m doit être supposée ;
- lorsque la valeur de résistivité du sol est inconnue, on présume que  $\rho = 500 \Omega\text{m}$  ;
- pour les câbles enterrés qui sont entièrement posés dans un réseau maillé de terre, la surface équivalente d'exposition peut être estimée à  $A_l = A_i = 0$  ;
- la structure à protéger doit être estimée comme étant connectée à l'extrémité «b» du service.

NOTE Une évaluation plus précise des surfaces équivalentes d'exposition  $A_l$  et  $A_i$  peut être trouvée dans les Recommandations UIT K.46 et UIT K.47.

**Tableau A.7 – Facteur de transformateur  $C_t$**

Transformateur	$C_t$
Service avec transformateur à deux enroulements	0,2
Service uniquement	1

#### A.4.5 Evaluation du nombre annuel moyen des événements dangereux dus aux coups de foudre à proximité d'un service $N_I$

Pour un service à une seule section (aérienne, enterrée, écrantée, non écrantée, etc.), la valeur de  $N_I$  peut être évaluée par :

$$N_I = N_g \times A_i \times C_e \times C_t \times 10^{-6} \quad (\text{A.23})$$

où :

$N_g$  est la densité de foudrolement (coup/km<sup>2</sup>/an) ;

$A_i$  est la surface équivalente d'exposition des coups de foudre au sol à proximité du service (m<sup>2</sup>) (voir Tableau A.3 et Figure A.7) ;

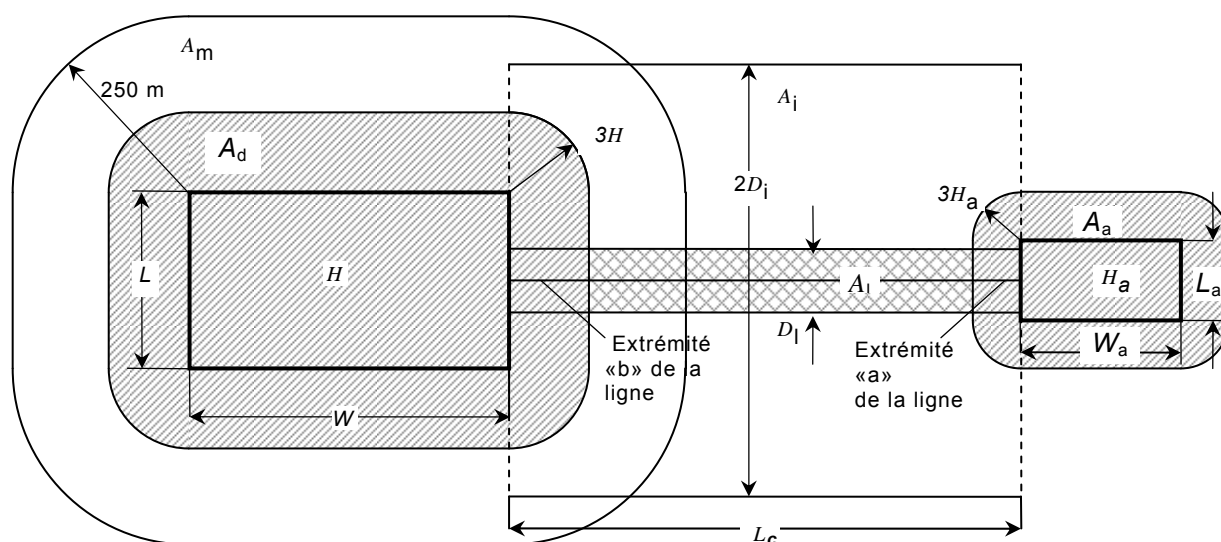
$C_e$  est le facteur d'environnement (voir Tableau A.8) ;

$C_t$  est le facteur de correction dû à la présence d'un transformateur HT/BT situé entre le point d'impact et la structure (voir Tableau A.4). Ce facteur s'applique aux sections de ligne en amont du transformateur par rapport à la structure.

**Tableau A.8 – Facteur d'environnement  $C_e$**

Environnement	$C_e$
Urbain avec bâtiments de grande hauteur <sup>1)</sup>	0
Urbain <sup>2)</sup>	0,1
Suburbain <sup>3)</sup>	0,5
Rural	1
<sup>1)</sup> Hauteur des bâtiments supérieure à 20 m. <sup>2)</sup> Hauteur des bâtiments entre 10 m et 20 m. <sup>3)</sup> Hauteur des bâtiments inférieure à 10 m.	

NOTE La surface équivalente d'exposition  $A_i$  du service est définie par sa longueur  $L_c$  et par la distance latérale  $D_i$  (voir Figure A.7) à laquelle un impact proche du service peut provoquer des surtensions induites égales ou supérieures à 1,5 kV.



**Figure A.7 – Zones équivalentes d'exposition ( $A_d$ ,  $A_m$ ,  $A_i$ ,  $A_l$ )**

### A.5 Evaluation de la probabilité de dommages $P_X$ d'une structure

Les probabilités données dans cette annexe sont valables si les mesures de protection sont conformes à leurs normes.

Les valeurs des probabilités  $P_X$  inférieures à 1 peuvent uniquement être prises, si la mesure ou la caractéristique est valable pour la structure entière ou la zone de structure ( $Z_S$ ) à protéger et pour tous les matériels associés.

#### A.5.1 Probabilité $P_A$ qu'un impact sur la structure entraîne des blessures sur les êtres vivants

Les valeurs de probabilité  $P_A$  de chocs sur des êtres vivants dus à des tensions de contact et de pas en raison d'impacts sur une structure sont données dans le Tableau A.9, en fonction des mesures de protection typiques.

**Tableau A.9 – Valeurs de probabilité  $P_A$  pour qu'un impact sur la structure entraîne des chocs sur des êtres vivants dus à des tensions de contact et de pas**

Mesure de protection	$P_A$
Pas de mesures de protection	1
Isolation électrique du conducteur exposé (par exemple, au moins 3 mm de polyéthylène réticulé)	$10^{-2}$
Sol équipotentiel efficace	$10^{-2}$
Plaques d'avertissement	$10^{-1}$

Si plusieurs dispositions ont été prises, la valeur de  $P_A$  est le produit des valeurs correspondantes de  $P_A$ .

NOTE Si les armatures ou les entourages sont utilisés comme conducteurs de descente, ou si des restrictions physiques sont présentes, la valeur de  $P_A$  est négligeable.

#### A.5.2 Probabilité $P_B$ pour qu'un impact sur une structure entraîne des dommages physiques

Les valeurs de probabilité  $P_B$  de dommages physiques dus à un impact sur une structure sont données dans le Tableau A.10 en fonction du type de niveau de protection (NPF).

**Tableau A.10 – Valeurs de  $P_B$  en fonction des mesures de protection pour réduire les dommages physiques**

Caractéristiques de la structure	Classe du SPF à dispositif d'amorçage	$P_B$
Structure non protégée par le SPF à dispositif d'amorçage	–	1
Structure protégée par le SPF à dispositif d'amorçage	IV	0,2
	III	0,1
	II	0,05
	I	0,02
Niveau I+		0,01
Niveau I++		0,001

### A.5.3 Probabilité $P_C$ pour qu'un impact sur une structure entraîne des défaillances des réseaux internes

Les valeurs de probabilité  $P_C$  de défaillances des réseaux internes dues à un impact sur une structure dépendent des parafoudres coordonnés qui ont été adoptés :

$$P_C = P_{SPD} \quad (A.24)$$

Les valeurs de  $P_{SPD}$  dépendent du niveau de protection (NPF) pour lesquels les parafoudres sont conçus comme indiqué dans le Tableau A.11.

**Tableau A.11 – Valeur de la probabilité  $P_{SPD}$  en fonction du LPL pour lequel les SPD sont conçus**

LPL	$P_{SPD}$
Pas de parafoudres coordonnés	1
III-IV	0,03
II	0,02
I	0,01
NOTE 3	0,005 – 0,001

NOTE 1 Seule une protection coordonnée par parafoudre est adaptée comme mesure de protection pour réduire  $P_C$ . Une telle protection est efficace pour réduire  $P_C$  uniquement si les structures sont protégées par un SPF à dispositif d'amorçage ou si les structures présentent des armatures en béton armé continues agissant comme SPF à dispositif d'amorçage naturel, y compris lorsque les exigences relatives à l'équipotentialité et la mise à la terre sont satisfaites.

NOTE 2 Les réseaux internes écrantés connectés aux lignes extérieures avec câble armé ou équipées de tubes ou conduits métalliques, peuvent ne pas nécessiter l'utilisation de parafoudres coordonnés.

NOTE 3 Des valeurs plus faibles de  $P_{SPD}$  sont possibles si les parafoudres présentent des caractéristiques supérieures (courant élevé, tenue aux chocs, niveau de protection plus faible) aux exigences d'un niveau de protection I pour la même installation.

### A.5.4 Probabilité $P_M$ qu'un impact à proximité d'une structure provoque la défaillance des réseaux internes

La probabilité  $P_M$  de défaillances des réseaux internes dues à un impact à proximité d'une structure dépend des mesures de protection contre la foudre qui ont été adoptées, en tenant compte du facteur  $K_{MS}$ .

Si aucune mesure de protection coordonnée conformément aux exigences de la NF EN 61643-11 et du CLC/TS 61643-12 n'est fournie, la valeur de  $P_M$  est égale à la valeur de  $P_{MS}$ .

Les valeurs de  $P_{MS}$  en fonction de  $K_{MS}$  sont indiquées dans le Tableau A.12, où  $K_{MS}$  est un facteur associé aux performances des mesures de protection adoptées.

Si aucune mesure de protection coordonnée conformément à la NF EN 61643-11 et au CLC/TS 61643-12 n'est fournie, la valeur de  $P_M$  est la valeur inférieure entre  $P_{SPD}$  et  $P_{MS}$ .

**Tableau A.12 – Valeur de la probabilité  $P_{MS}$  en fonction du facteur  $K_{MS}$** 

$K_{MS}$	$P_{MS}$
$\geq 0,4$	1
0,15	0,9
0,07	0,5
0,035	0,1
0,021	0,01
0,016	0,005
0,015	0,003
0,014	0,001
$\leq 0,013$	0,000 1

Pour les réseaux internes dont les matériels ne répondent pas aux normes de produit applicables en matière d'immunité CEM, on doit prendre  $P_{MS} = 1$ .

Les valeurs du facteur  $K_{MS}$  sont obtenues à partir du produit :

$$K_{MS} = K_{S1} \times K_{S2} \times K_{S3} \times K_{S4} \quad (\text{A.25})$$

où :

$K_{S1}$  prend en compte l'efficacité de l'écran de la structure, du SPF à dispositif d'amorçage ou d'autres écrans à la limite ZPF 0/1 ;

$K_{S2}$  prend en compte l'efficacité des écrans internes de la structure à la limite ZPF X/Y ( $X > 0$ ,  $Y > 1$ ) ;

$K_{S3}$  prend en compte les caractéristiques du câblage interne (voir Tableau A.13) ;

$K_{S4}$  prend en compte la tension de tenue aux chocs des réseaux à protéger.

Dans une ZPF, à une distance de sécurité de l'écran de limite au moins égale à la taille de la maille  $w$ , les facteurs  $K_{S1}$  et  $K_{S2}$  pour le SPF à dispositif d'amorçage ou pour les écrans spatiaux peuvent être évalués comme suit :

$$K_{S1} = K_{S2} = 0,12 \times w \quad (\text{A.26})$$

où  $w$  (m) est la taille de la maille de l'écran spatial ou des conducteurs de descente maillés ou encore de la distance de séparation entre les colonnes métalliques de la structure ou entre les armatures en béton jouant le rôle de SPF à dispositif d'amorçage naturel.

Pour les écrans métalliques continus d'une épaisseur de 0,1 mm à 0,5 mm,  $K_{S1} = K_{S2} = 10^{-4}$  à  $10^{-5}$ .

Si une boucle d'induction circule à proximité de la limite d'une ZPF et si les conducteurs écrantés sont à une distance plus faible que la distance de sécurité, les valeurs de  $K_{S1}$  et  $K_{S2}$  seront plus élevées. Par exemple, il convient de doubler les valeurs de  $K_{S1}$  et  $K_{S2}$  si la distance jusqu'à l'écran varie entre 0,1  $w$  et 0,2  $w$ .

Pour une cascade de ZPF, la valeur finale  $K_{S2}$  est le produit des valeurs correspondantes  $K_{S2}$  de chaque ZPF.

NOTE La valeur maximale de  $K_{S1}$  est limitée à 1.



**Tableau A.13 – Valeur du facteur  $K_{S3}$  en fonction du câblage interne**

Type de câblage interne	$K_{S3}$
Câble non écrané – Pas de précaution de cheminement afin d'éviter des boucles <sup>1)</sup>	1
Câble non écrané – Précaution de cheminement afin d'éviter des boucles de grande taille <sup>2)</sup>	0,2
Câble non écrané – Précaution de cheminement afin d'éviter des boucles <sup>3)</sup>	0,02
Câble écrané avec résistance d'écran <sup>4)</sup> $5 < R_S \leq 20 \Omega/\text{km}$	0,001
Câble écrané avec résistance d'écran <sup>4)</sup> $1 < R_S \leq 5 \Omega/\text{km}$	0,000 2
Câble écrané avec résistance d'écran <sup>4)</sup> $R_S \leq 1 \Omega/\text{km}$	0,000 1
<sup>1)</sup> Boucles avec différents cheminements dans de grands bâtiments (surface de boucle de l'ordre de 50 m <sup>2</sup> ). <sup>2)</sup> Boucles dans le même conduit ou boucles avec différents cheminements dans de petits bâtiments (surface de boucle de l'ordre de 10 m <sup>2</sup> ). <sup>3)</sup> Boucles dans le même câble (surface de boucle de 0,5 m <sup>2</sup> ). <sup>4)</sup> Câble avec écran de résistance $R_S$ ( $\Omega/\text{km}$ ) relié à la liaison équipotentielle à ses deux extrémités et matériel connecté à la même liaison.	

Pour des canalisations cheminant de manière continue dans un conduit métallique continu relié à la borne d'équipotentialité à ses deux extrémités, les valeurs de  $K_{S3}$  doivent être multipliées par 0,1.

Le facteur  $K_{S4}$  doit être évalué comme suit :

$$K_{S4} = 1,5/U_w \quad (\text{A.27})$$

où  $U_w$  est la tension assignée de tenue aux chocs du réseau à protéger, en kV.

Si dans un réseau interne, des appareils présentent des niveaux différents de tension de tenue aux chocs, le facteur  $K_{S4}$  pour le niveau de tension de tenue aux chocs le plus faible doit être choisi.

#### **A.5.5 Probabilité $P_U$ pour qu'un impact sur un service entraîne des blessures sur des êtres vivants**

Les valeurs de probabilité  $P_U$  de blessures sur des êtres vivants dues à des tensions de contact en raison d'impacts sur un service entrant dépendent des caractéristiques des écrans du service, de la tension de tenue aux chocs des réseaux internes connectés au service, des mesures de protection typiques (restrictions physiques, notices d'avertissement, etc., (voir Tableau A.9)) et des parafoudres prévus à l'entrée du service.

Si un parafoudre ne réalise pas une équipotentialité, la valeur de  $P_U$  est égale à la valeur de  $P_{LD}$ , où  $P_{LD}$  est la probabilité de défaillance des réseaux internes due à un impact sur le service connecté.

Les valeurs de  $P_{LD}$  sont données dans le Tableau A.14.

Si un parafoudre réalise une équipotentialité, la valeur de  $P_U$  est la valeur inférieure entre  $P_{SPD}$  (Tableau A.11) et  $P_{LD}$ .

NOTE Des parafoudres coordonnés selon la NF EN 61643-11 et le CLC/TS 61643-12 ne sont pas nécessaires ici pour réduire  $P_U$ . Le(s) parafoudre(s) suffisent.

**Tableau A.14 – Valeurs de la probabilité  $P_{LD}$  en fonction de la résistance  $R_S$  de l'écran du câble et de tension de tenue aux chocs  $U_w$  de l'équipement**

$U_w$ kV	$5 < R_S \leq 20$ $\Omega/\text{km}$	$1 < R_S \leq 5$ $\Omega/\text{km}$	$R_S \leq 1$ $\Omega/\text{km}$
1,5	1	0,8	0,4
2,5	0,95	0,6	0,2
4	0,9	0,3	0,04
6	0,8	0,1	0,02
$R_S$ ( $\Omega/\text{km}$ ) : résistance de l'écran du câble.			

Pour un service non écrané, on doit prendre  $P_{LD} = 1$ .

Si des mesures de protection telles que des restrictions physiques, des plaques d'avertissement, etc., sont prévues, la probabilité  $P_U$  doit être réduite en la multipliant par les valeurs de la probabilité  $P_A$  données dans le Tableau A.9.

#### **A.5.6 Probabilité $P_V$ pour qu'un impact sur un service entraîne des dommages physiques**

Les valeurs de probabilité  $P_V$  de dommages physiques en raison d'impact sur un service entrant dépendent des caractéristiques des écrans du service, de la tension de tenue aux chocs des réseaux internes connectés au service et des parafoudres prévus.

Si un parafoudre ne réalise pas une équipotentialité, la valeur de  $P_V$  est égale à la valeur de  $P_{LD}$ , où  $P_{LD}$  est la probabilité de défaillance des réseaux internes due à un impact sur le service connecté

Les valeurs de  $P_{LD}$  sont données dans le Tableau A.14.

Si un parafoudre réalise une équipotentialité, la valeur de  $P_V$  est la valeur inférieure entre  $P_{SPD}$  (Tableau A.11) et  $P_{LD}$ .

NOTE Des parafoudres coordonnés selon la NF EN 61643-11 et le CLC/TS 61643-12 ne sont pas nécessaires ici pour réduire  $P_V$ . Le(s) parafoudre(s) suffisent.

#### **A.5.7 Probabilité $P_W$ pour qu'un impact sur un service entraîne des défaillances des réseaux internes**

Les valeurs de probabilité  $P_W$  de défaillances des réseaux internes en raison d'impact sur un service entrant dépendent des caractéristiques des écrans du service, de la tension de tenue aux chocs des réseaux internes connectés au service et des parafoudres prévus.

Si des parafoudres coordonnés conformément à la NF EN 61643-11 et au CLC/TS 61643-12 sont prévus, la valeur de  $P_W$  est égale à la valeur de  $P_{LD}$ , où  $P_{LD}$  est la probabilité de défaillance des réseaux internes due à un impact sur le service connecté.

Les valeurs de  $P_{LD}$  sont données dans le Tableau A.14.

Si des parafoudres coordonnés conformément à la NF EN 61643-11 et au CLC/TS 61643-12 sont prévus, la valeur de  $P_W$  est la valeur inférieure entre  $P_{SPD}$  (voir le Tableau A.11) et  $P_{LD}$ .

### A.5.8 Probabilité $P_Z$ pour qu'un impact à proximité d'un service entrant entraîne des défaillances des réseaux internes

Les valeurs de probabilité  $P_Z$  de défaillances des réseaux internes en raison d'impact à proximité d'un service entrant dépendent des caractéristiques des écrans du service, de la tension de tenue aux chocs des réseaux internes connectés au service et des mesures de protection prévues.

Si des parafoudres coordonnés conformément à la NF EN 61643-11 et au CLC/TS 61643-12 sont prévus, la valeur de  $P_Z$  est égale à la valeur de  $P_{LI}$ , où  $P_{LI}$  est la probabilité de défaillance des réseaux internes due à un impact sur le service connecté.

Les valeurs de  $P_{LI}$  sont données dans le Tableau A.15.

Si des parafoudres coordonnés conformément à la NF EN 61643-11 et au CLC/TS 61643-12 sont prévus, la valeur de  $P_Z$  est la valeur inférieure entre  $P_{SPD}$  (voir Tableau A.11) et  $P_{LI}$ .

**Tableau A.15 – Valeurs de la probabilité  $P_{LI}$  en fonction de la résistance  $R_S$  de l'écran du câble et de tension de tenue aux chocs  $U_w$  de l'équipement**

$U_w$ kV	Pas d'écran	Ecran non relié à la borne d'équipotentialité à laquelle le matériel est connecté	Ecran relié à la borne d'équipotentialité et matériel connecté à la même borne		
			$5 < R_S \leq 20$ $\Omega/\text{km}$	$1 < R_S \leq 5$ $\Omega/\text{km}$	$R_S \leq 1$ $\Omega/\text{km}$
1,5	1	0,5	0,15	0,04	0,02
2,5	0,4	0,2	0,06	0,02	0,008
4	0,2	0,1	0,03	0,008	0,004
6	0,1	0,05	0,02	0,004	0,002

$R_S$  : résistance de l'écran du câble ( $\Omega/\text{km}$ ).

NOTE Des valeurs plus précises de  $K_S$  pour des câbles écrantés ou non peuvent être consultées dans la Recommandation UIT K.46.

## A.6 Evaluation du montant des pertes $L_X$ dans une structure

### A.6.1 Montant relatif moyen des pertes annuelles

Les pertes  $L_X$  se réfèrent à la moyenne relative du montant d'un type particulier de dommage, de son étendue et des effets consécutifs pouvant être dus à un impact de foudre.

Sa valeur dépend :

- du nombre de personnes et du temps pendant lequel elles resteront à un emplacement dangereux ;
- du type et de l'importance des services publics ;
- de la valeur des biens affectés par les dommages.

Les pertes  $L_X$  varient selon le type de perte ( $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  et  $L_4$ ) considérée et, pour chaque type de perte, selon le type de dommage ( $D_1$ ,  $D_2$  et  $D_3$ ) à l'origine. Les symboles suivants sont utilisés :

- $L_t$  : pertes dues aux blessures par tensions de contact et de pas ;
- $L_f$  : pertes dues aux dommages physiques ;
- $L_o$  : pertes dues aux défaillances des réseaux internes.

#### A.6.2 Perte de vie humaine

La valeur de  $L_t$ ,  $L_f$  et  $L_o$  peut être déterminée en termes de nombre relatif de victimes à partir de la relation approchée suivante :

$$L_X = (n_p / n_t) \times (t_p / 8\,760) \quad (\text{A.28})$$

où :

$n_p$  est le nombre de personnes pouvant courir un danger (victimes) ;

$n_t$  est le nombre total présumé de personnes (dans la structure) ;

$t_p$  est la durée annuelle en heures de présence des personnes à un emplacement dangereux, à l'extérieur de la structure ( $L_t$  uniquement) ou à l'intérieur de la structure ( $L_t$ ,  $L_f$  et  $L_o$ ).

Les valeurs moyennes types de  $L_t$ ,  $L_f$  et  $L_o$ , à utiliser quand la détermination de  $n_p$ ,  $n_t$  et  $t_p$  est incertaine ou difficile, sont données dans le Tableau A.16.

**Tableau A.16 – Valeurs moyennes types de  $L_t$ ,  $L_f$  et  $L_o$**

Type de structure	$L_t$
Tout type – (personnes à l'intérieur des bâtiments)	$10^{-4}$
Tout type – (personnes à l'extérieur des bâtiments)	$10^{-2}$

Type de structure	$L_f$
Hôpitaux, hôtels, bâtiments civils	$10^{-1}$
Industrielle, commerciale, scolaire	$5 \times 10^{-2}$
Publique, églises, musées	$2 \times 10^{-2}$
Autres	$10^{-2}$

Type de structure	$L_o$
Structure avec risque d'explosion	$10^{-1}$
Hôpitaux	$10^{-3}$

Les pertes de vies humaines sont liées aux caractéristiques de la structure. Elles sont prises en compte en augmentant les facteurs ( $h_z$ ) et en diminuant les facteurs ( $r_f$ ,  $r_p$ ,  $r_a$ ,  $r_u$ ) comme suit :

$$L_A = r_a \times L_t \quad (\text{A.29})$$

$$L_U = r_u \times L_t \quad (\text{A.30})$$

$$L_B = L_V = r_p \times h_z \times r_f \times L_f \quad (\text{A.31})$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_o \quad (\text{A.32})$$

où :

$r_a$  est un facteur de réduction des pertes en vies humaines en fonction du type de sol (voir Tableau A.17) ;

$r_u$  est un facteur de réduction des pertes en vies humaines en fonction du type du plancher (voir Tableau A.17) ;

$r_p$  est un facteur de réduction des pertes dues aux dommages physiques en fonction des dispositions prises pour réduire les conséquences du feu (voir Tableau A.18) ;

$r_f$  est un facteur de réduction des pertes dues aux dommages physiques en fonction du risque de feu de la structure (voir Tableau A.19) ;

$h_z$  est un facteur d'augmentation des pertes dues aux dommages physiques en présence d'un danger spécifique (voir Tableau A.20).

**Tableau A.17 – Valeurs des facteurs de réduction  $r_a$  et  $r_u$  en fonction du type de sol ou de plancher**

Type de sol ou de plancher	Résistance de contact $k\Omega$ <sup>1)</sup>	$r_a$ et $r_u$
Agricole, béton	$\leq 1$	$10^{-2}$
Marbre, céramique	$1 - 10$	$10^{-3}$
Gravier, moquette, tapis	$10 - 100$	$10^{-4}$
Asphalte, linoléum, bois	$\geq 100$	$10^{-5}$
<sup>1)</sup> Valeurs mesurées entre une électrode de 400 cm <sup>2</sup> comprimée avec une force de 500 N à un point à l'infini.		

**Tableau A.18 – Valeurs de facteur de réduction  $r_p$  en fonction des dispositions prises pour réduire la conséquence du feu**

Dispositions	$r_p$
Pas de disposition	1
Une des dispositions suivantes : extincteurs, installations d'extinction fixes déclenchées manuellement, installations manuelles d'alarme, prises d'eau, compartiments étanches, voies d'évacuation protégées	0,5
Une des dispositions suivantes : installations d'extinction fixes déclenchées automatiquement, installations d'alarme automatiques <sup>1)</sup>	0,2
<sup>1)</sup> Seulement si elles sont protégées contre les surtensions ou d'autres dommages et si les pompiers peuvent intervenir en moins de 10 min.	

Si plusieurs dispositions ont été prises, la valeur de  $r_p$  doit être la plus faible des valeurs individuelles.

Dans les structures présentant un risque d'explosion,  $r_p = 1$  dans tous les cas.

**Tableau A.19 – Valeurs de facteur de réduction  $r_f$  en fonction du risque d'incendie de la structure**

Risque d'incendie	$R_f$
Explosion	1
Elevé	$10^{-1}$
Ordinaire	$10^{-2}$
Faibles	$10^{-3}$
Aucun	0

NOTE 1 Dans le cas d'une structure présentant un risque d'explosion et d'une structure contenant des mélanges explosifs une évaluation plus détaillée de  $r_f$  peut être nécessaire.

NOTE 2 On peut estimer que les structures présentant un risque de feu élevé sont les structures en matériaux combustibles ou les structures dont le toit est en matériaux combustibles ou les structures avec une charge calorifique particulière supérieure à 800 MJ/m<sup>2</sup>.

NOTE 3 On peut estimer que les structures présentant un risque ordinaire de feu sont les structures qui ont une charge calorifique comprise entre 800 MJ/m<sup>2</sup> et 400 MJ/m<sup>2</sup>.

NOTE 4 On peut estimer que les structures qui présentent un faible risque de feu sont les structures qui ont une charge calorifique particulière inférieure à 400 MJ/m<sup>2</sup> ou les structures qui ne contiennent qu'occasionnellement des matériaux combustibles.

NOTE 5 La charge calorifique spécifique est le rapport de l'énergie de la part totale de matériau combustible dans une structure sur la surface complète de la structure.

**Tableau A.20 – Valeurs du facteur  $h_z$  augmentant le montant relatif des pertes en présence d'un danger particulier**

Type de danger particulier	$h_z$
Pas de danger particulier	1
Faible niveau de panique (par exemple, structure limitée à deux étages et nombre de personnes inférieur à 100)	2
Niveau de panique moyen (par exemple, structures destinées à des événements culturels ou sportifs avec un nombre de personnes compris entre 100 et 1 000)	5
Difficulté d'évacuation (par exemple, structures avec personnes immobilisées)	5
Niveau de panique élevé (par exemple, structures destinées à des événements culturels ou sportifs avec un nombre de personnes supérieur à 1 000)	10
Danger pour l'environnement	20
Contamination de l'environnement	50

### A.6.3 Pertes inacceptables de service public

Les valeurs de  $L_f$  et  $L_o$  peuvent être déterminées en termes de quantité relative de pertes potentielles à partir de la relation approchée suivante :

$$L_x = n_p / n_t \times t / 8\,760 \quad (\text{A.33})$$

où :

$n_p$  est le nombre moyen de personnes pouvant courir un danger (usagers non desservis) ;

$n_t$  est le nombre total de personnes (usagers desservis) ;

$t$  est la durée annuelle de perte de service, en heures.

Les valeurs moyennes types de  $L_f$  et  $L_o$ , à utiliser lorsque la détermination de  $n_p$ ,  $n_t$  et  $t$  est incertaine ou difficile, sont données dans le Tableau A.21.

**Tableau A.21 – Valeurs moyennes types de  $L_f$  et  $L_o$**

Type de service	$L_f$	$L_o$
Gaz, eau	$10^{-1}$	$10^{-2}$
TV, lignes de communication, puissance	$10^{-2}$	$10^{-3}$

Les pertes de service public sont affectées par les caractéristiques de la structure et par les facteurs décroissants ( $r_p$ ) comme suit :

$$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_f \quad (\text{A.34})$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_o \quad (\text{A.35})$$

Les valeurs des facteurs  $r_p$  et  $r_f$  sont données dans les Tableaux A.18 et A.19 respectivement.

#### **A.6.4 Perte d'héritage culturel irremplaçable**

La valeur de  $L_f$  peut être déterminée en termes de quantité relative de pertes potentielles à partir de la relation approchée suivante :

$$L_x = c / c_t \quad (\text{A.36})$$

où :

- $c$  est le coût moyen des pertes possibles de la structure (c'est-à-dire la valeur assurable de perte possible de biens) ;
- $c_t$  est le coût total de la structure (c'est-à-dire la valeur totale assurée de tous les biens présents dans la structure).

Des valeurs moyennes types de  $L_f$ , qui peuvent être prises lorsque la détermination de  $c$  et  $c_t$  est incertaine ou difficile, sont :

$$L_f = 10^{-1} \quad (\text{A.37})$$

Les pertes d'héritage culturel irremplaçable sont affectées par les caractéristiques de la structure et par les facteurs décroissants  $r_p$  comme suit :

$$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_f \quad (\text{A.38})$$

Les valeurs des facteurs  $r_p$  et  $r_f$  sont données dans les Tableaux A.18 et A.19 respectivement.

### A.6.5 Pertes économiques

La valeur de  $L_t$ ,  $L_f$  et  $L_o$  peut être déterminée en termes de quantité relative de pertes potentielles à partir de la relation approchée suivante :

$$L_x = c / c_t \quad (\text{A.39})$$

où :

$c$  est le coût moyen des pertes possibles de structure (y compris son contenu et des activités correspondantes et de ses conséquences) en monnaie ;

$c_t$  est le coût total de la structure (y compris son contenu et ses activités correspondantes) en monnaie.

Les valeurs moyennes types de  $L_t$ ,  $L_f$  et  $L_o$  pour tous les types de structures, à utiliser lorsque la détermination de  $c$  et  $c_t$  est incertaine ou difficile, sont données dans le Tableau A.22.

**Tableau A.22 – Valeurs moyennes types de  $L_t$ ,  $L_f$  et  $L_o$**

Type de structure	$L_t$
Tout type – Intérieur des bâtiments	$10^{-4}$
Tout type – Extérieur des bâtiments	$10^{-2}$

Type de structure	$L_f$
Hôpitaux, industrielle, musées, agricole	0,5
Hôtel, école, bureaux, église, loisirs, bâtiments préfabriqués	0,2
Autres	0,1

Type de structure	$L_o$
Risque d'explosion	$10^{-1}$
Hôpitaux, industries, bureaux, hôtels, bâtiments préfabriqués	$10^{-2}$
Musées, agricoles, écoles, églises, loisirs	$10^{-3}$
Autres	$10^{-4}$

Les pertes économiques sont affectées par les caractéristiques de la structure. Elles sont prises en compte en augmentant les facteurs ( $h_z$ ) et en diminuant les facteurs ( $r_p$ ,  $r_a$ ,  $r_f$ ,  $r_u$ ) comme suit :

$$L_A = r_a \times L_t \quad (\text{A.40})$$

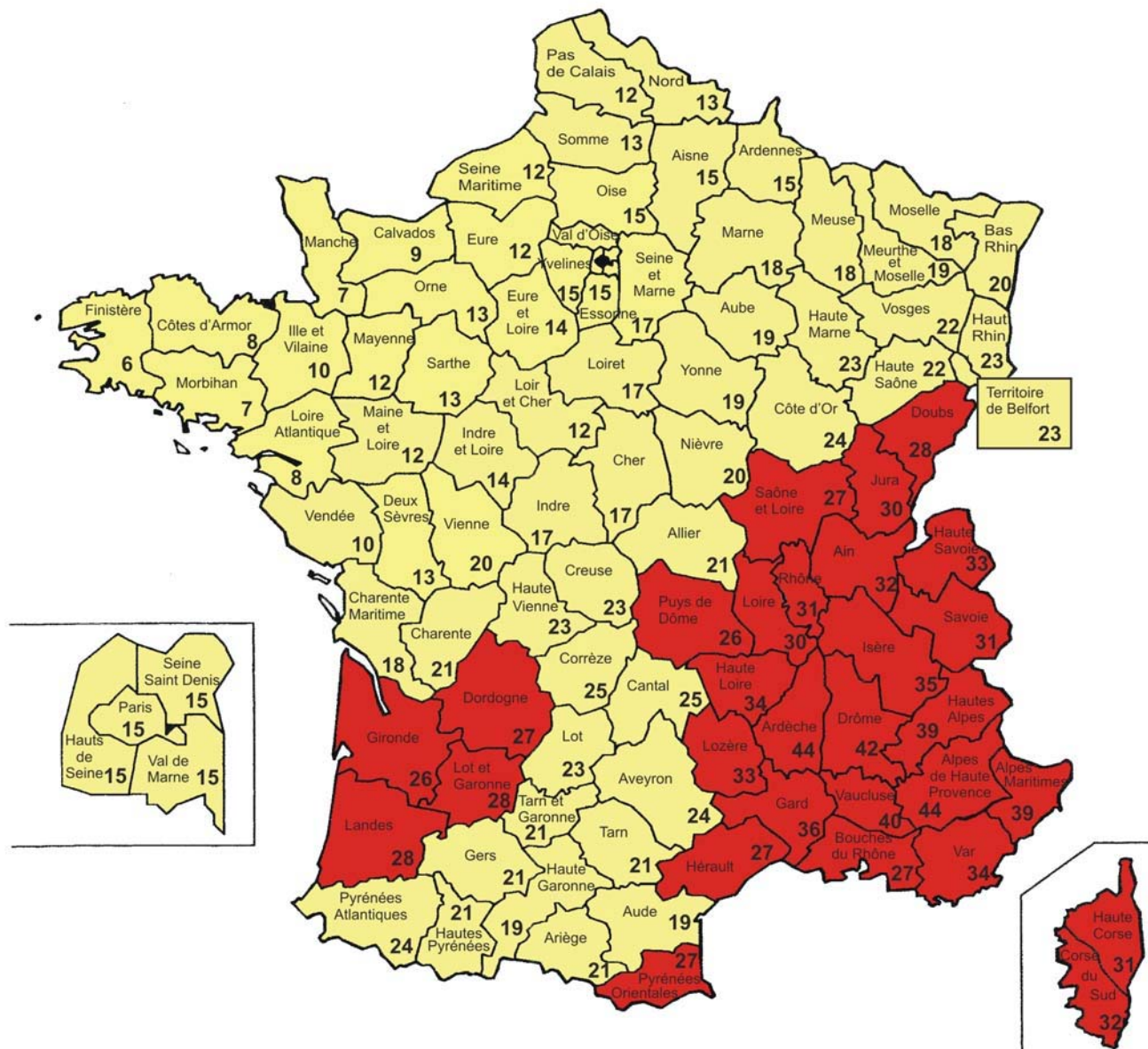
$$L_U = r_u \times L_t \quad (\text{A.41})$$

$$L_B = L_V = r_p \times r_f \times h_z \times L_f \quad (\text{A.42})$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_o \quad (\text{A.43})$$



**Annexe B**  
(normative)  
**Cartes de  $N_g$**

Réunion :  $N_k = 20$ 

Guyane/Martinique/Guadeloupe :  $N_k = 40$

Saint-Pierre et Miquelon :  $N_k = 1$

**Figure B.1 – Carte du niveau  $N_k$ , ( $N_k=10 \times N_g$ ) pour la France**

**Annexe C**  
(normative)  
**PDA : procédures d'essais et exigences**

**C.1 Conditions de fonctionnement****C.1.1 Conditions normales**

Les conditions normales de fonctionnement sont les suivantes :

- température de fonctionnement de -20 °C à 60 °C ;
- vitesse du vent inférieure à 122 km/h.

**C.1.2 Conditions anormales**

Les conditions anormales de fonctionnement sont les suivantes :

- température de fonctionnement inférieure à -20 °C ou supérieure à 60 °C ;
- vitesse du vent supérieure à 122 km/h ;
- neige et glace ;
- site avec atmosphère fortement polluée.

**C.2 Exigences****C.2.1 Exigences générales****C.2.1.1 Identification et documentation**

Le PDA est identifié par les informations suivantes indiquées sur le produit (marquage) :

- nom, logo ou marque commerciale du fabricant ;
- référence produit ;
- efficacité :  $\Delta T$  (en  $\mu s$ ) ;
- numéro de série.

**C.2.1.2 Marquage**

Le marquage doit être réalisé de manière lisible et indélébile. Il doit mentionner à minima le nom, logo ou la marque commerciale du fabricant, la référence du produit et le numéro de série. Le marquage doit être vérifié par les essais du C.2.6.2.

**C.2.2 Exigences d'efficacité**

L'efficacité du PDA ( $\Delta T$ ) doit être déterminée selon les modalités définies dans l'article C.3.5. Elle doit être comprise entre 10  $\mu s$  et 60  $\mu s$ .

Si le résultat de  $\Delta T$  est inférieur à 10  $\mu s$ , alors le paratonnerre n'est pas considéré comme un PDA.

Si le résultat de  $\Delta T$  est supérieur à 60  $\mu s$ , alors tous les calculs sont effectués en considérant que  $\Delta T = 60 \mu s$ .

**C.2.3 Exigences électriques**

Le PDA doit tenir un choc de foudre de 100 kA (onde 10/350). Ceci est vérifié par les essais définis au C.3.4.

### C.2.4 Exigences mécaniques

Les parties du PDA par lesquelles transite le courant de foudre doivent avoir une section conforme à la NF EN 50164-2 (éventuellement les éclateurs utilisés pour la conception du PDA sont soumis à des essais pendant les essais de tenue du courant et ne sont pas associés à des exigences mécaniques).

Les parties du PDA qui doivent capter la foudre doivent avoir des caractéristiques dimensionnelles conformes au tableau ci-dessous :

**Tableau C.1 – Matériau, configuration et section minimale du corps de la partie de point d'impact**

Matériau	Configuration	Section minimale	Observations
Cuivre, Aluminium, Alliage d'aluminium, Acier galvanisé à chaud (NOTE 1), Acier inoxydable (NOTE 2),	Rond plein	200 mm <sup>2</sup>	Diamètre 16 mm

NOTE 1 Le revêtement doit être lisse et continu et ne doit comporter aucune tâche de flux. L'épaisseur minimale est de 50 µm.

NOTE 2 Chrome 16 %, nickel 8 %, carbone 0,07 %.

### C.2.5 Exigences d'environnement

#### C.2.5.1 Conditions d'ambiances

Le PDA doit supporter des contraintes d'environnement telles que brouillard salin et atmosphère sulfureuse caractéristiques de la pollution du bord de mer et de la pollution industrielle. Ceci est vérifié par la réalisation d'essais de pré-conditionnement décrits au C.3.

### C.2.6 Compatibilité électromagnétique

#### C.2.6.1.1 Immunité électromagnétique

Les PDA qui ne comportent aucun système électronique ou pour lesquels tous les composants sont passifs (par exemple, diodes, résistances, condensateurs, inductances, varistances et autres composants de protection) ne sont pas sensibles aux champs électromagnétiques des environnements industriels. En conséquence, aucun essai d'immunité n'est exigé.

Les autres PDA doivent faire l'objet d'essais. Ces PDA doivent être conformes à la norme d'immunité d'environnement industriel NF EN 61000-6-2 pour les essais applicables. Le fonctionnement du dispositif d'avance à l'amorçage et du dispositif d'essai éventuellement intégré au PDA ne doit pas être perturbé lors de l'essai. Ceci est vérifié par l'absence d'étincelle détectée visuellement.

#### C.2.6.2 Emission électromagnétique

Les PDA n'incorporant aucun système électronique ou pour lesquels tous les composants sont passifs (par exemple, diodes, résistances, condensateurs, inductances, varistances et autres composants de protection) ne génèrent aucun signal en absence de conditions orageuses. En conséquence, aucun essai d'émission n'est exigé.

Les PDA incorporant des circuits électroniques doivent être conformes à la norme d'émission pour l'environnement résidentiel NF EN 61000-6-3.

Pour les PDA qui répondent à ces conditions, mais qui comportent des modules radio, l'ensemble des exigences décrites dans la directive RTTE 1999/5/CE doit être satisfait.

### C.3 Essai de type

Les essais doivent être réalisés sur un échantillon selon le logigramme de la Figure C.1.

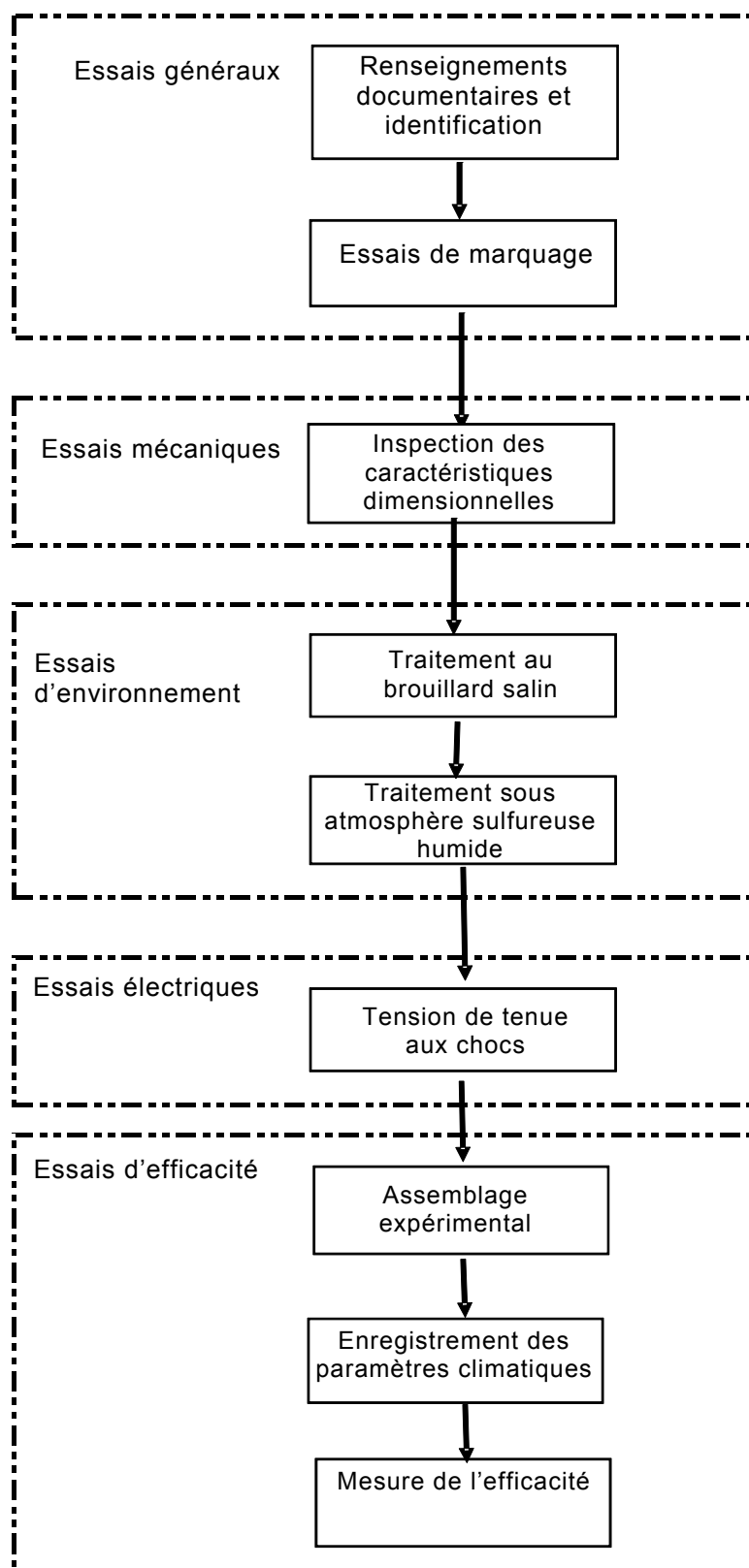


Figure C.1 – Déroulement des essais

### C.3.1 Essais généraux

#### C.3.1.1 Renseignements documentaires et identification

La vérification par examen de l'identification et des marquages doit être faite par rapport aux exigences du C.2.1.2. La conformité est vérifiée par examen.

#### C.3.1.2 Marquage

Un essai doit être effectué sur tous les types de marquage à l'exception de ceux faits par pression moulage ou gravure.

L'essai est effectué en frottant le marquage à la main pendant 15 s avec un chiffon de coton imbibé d'eau et pendant 15 s encore avec un chiffon de coton imbibé d'hexane aliphatique.

NOTE L'hexane aliphatique est défini par une teneur maximale en carbures aromatiques de 0,1 % en volume, un indice de kauributanol de 29, une température initiale d'ébullition d'environ 65 °C, une température d'ébullition finale d'environ 69 °C et de masse spécifique de 0,68 g/cm<sup>3</sup>.

Après cet essai, le marquage doit être lisible.

### C.3.2 Caractéristiques dimensionnelles

La vérification des caractéristiques dimensionnelles avec leurs tolérances est réalisée sur la base des plans et des données du constructeur :

- détermination de la partie caprice ;
- calcul de la section du corps de la partie caprice ;
- calcul de la section des parties par lesquelles le courant doit transiter.

### C.3.3 Conditionnements environnementaux

#### C.3.3.1 Traitement au brouillard salin

Essai de brouillard salin selon la NF EN 60068-2-52, sauf articles 7, 10 et 11 qui ne sont pas applicables.

L'essai se réalise avec une sévérité de niveau 2.

#### C.3.3.2 Traitement sous atmosphère sulfureuse humide

Essai en atmosphère sulfureuse humide selon la norme NF EN ISO 6988 avec sept cycles et une concentration de dioxyde de soufre de 667 ppm (en volume).

Chaque cycle dure 24 h et consiste en une période de chauffage de 8 h à une température de 40 °C ± 3 °C en atmosphère humide saturée, suivi d'une période de repos de 16 h. Après cette période de repos, l'atmosphère soufrée humide est renouvelée.

### C.3.4 Essais de courant de tenue

Après le préconditionnement environnemental et sans nettoyage de l'échantillon, le PDA est soumis aux essais suivants :

Essai au courant de choc  $I_{imp}$  ;

L'impulsion d'essai  $I_{imp}$  est définie par  $I_{crête}$ ,  $Q$  et  $W/R$ . Une impulsion unipolaire de courant doit atteindre ces paramètres en 10 ms.

Une forme d'onde typique pouvant réaliser ces paramètres est l'onde 10/350. La relation entre  $I_{crête}$ ,  $Q$  et  $W/R$  est donnée par les formules :

$$Q \text{ (As)} = 0,5 I_{crête}^2 \text{ (kA)} \quad (C.1)$$

$$W/R \text{ (kJ/}\Omega\text{)} = Q^2 \text{ (As)} \quad (C.2)$$

Les tolérances sur la valeur crête du courant  $I_{crête}$ , la charge  $Q$  et l'énergie spécifique  $W/R$  sont :

- $I_{crête} \pm 10 \%$
- $Q \pm 20 \%$
- $W/R \pm 35 \%$

L'échantillon doit être soumis trois fois à un courant d'essai donné dans le Tableau C.2. L'intervalle de temps entre chaque essai doit permettre à l'échantillon de se refroidir à la température ambiante.

**Tableau C.2 – Valeur du courant  $I_{imp}$**

$I_{crête}$ (kA)	$Q$ (A.s)	$W/R$ (kJ/ $\Omega$ )
100	50	2 500

#### *Sanction d'essai*

L'échantillon a réussi l'essai si les enregistrements tension/courant et l'inspection visuelle ne révèlent aucune indication de détérioration ou de perforation de l'échantillon, à l'exception des parties écouant le courant de foudre où des traces d'amorçages et une fusion superficielle peuvent apparaître.

### **C.3.5 Essais d'avance à l'amorçage**

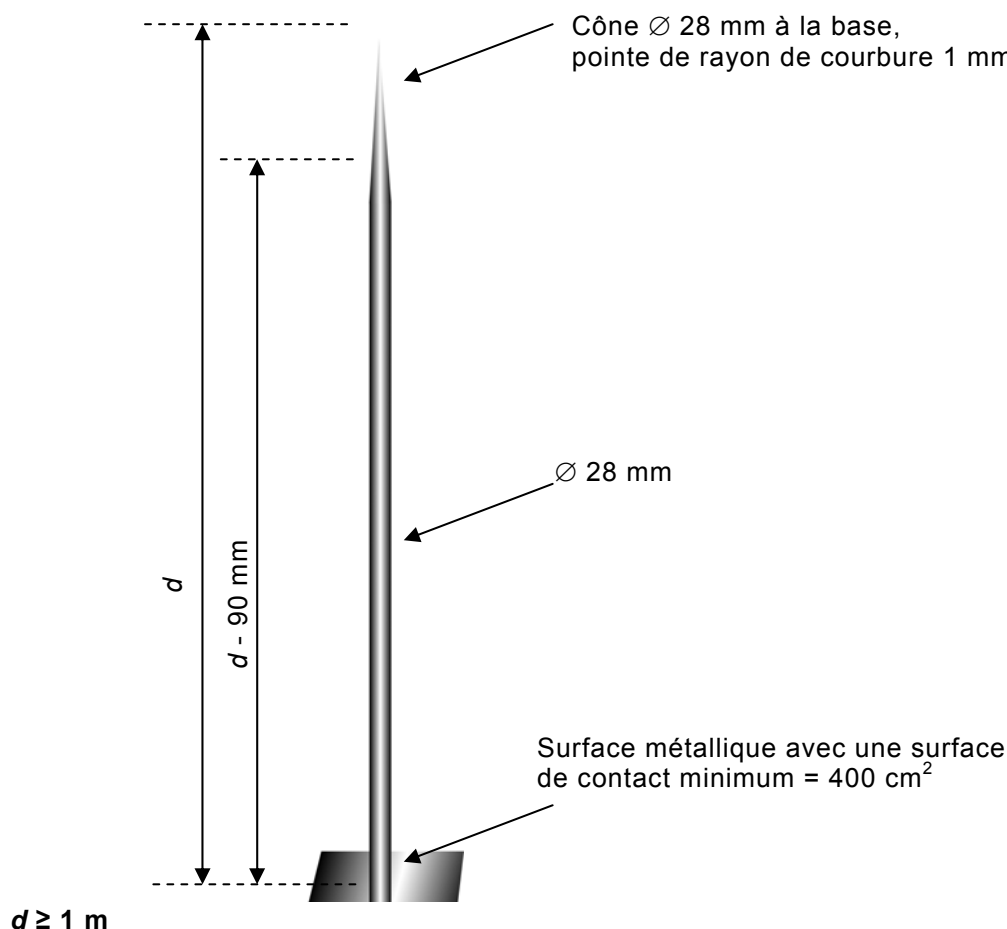
La norme de référence pour les procédures d'essais est la NF EN 61180-1. Le PDA doit être installé et relié électriquement conformément aux instructions du constructeur.

Lors des essais, aucune maintenance ou aucun démontage du PDA n'est admis.

Il devra être observé que de bonnes techniques d'essais sont nécessaires pour les essais de chocs et les mesures, afin de s'assurer que les valeurs correctes d'essais sont enregistrées.

#### **C.3.5.1.1 Caractérisation du paratonnerre à tige simple de référence**

Le paratonnerre à tige simple (PTS) de référence doit respecter les cotes indiquées sur le schéma ci-dessous :



**Figure C.2 - Paratonnerre à tige simple (PTS) de référence**

### C.3.5.1.2 Dimensions du montage d'essais

Les dimensions du montage d'essais sont les suivantes :

- la hauteur des paratonnerres ( $h$ ) est supérieure ou égale à 1 m. La différence de hauteur entre les deux pointes doit être inférieure à 1 % ;
- la distance plateau supérieur/sol ( $H$ ) doit être supérieure à 2 m. Le rapport  $h/H$  doit être compris entre 0,25 et 0,5 ;
- le plateau supérieur a comme plus petite dimension horizontale, la distance plateau/sol ( $H$ ) ;
- la tige de diamètre 28 mm, support des paratonnerres, repose sur un support carré de côté 0,2 m.

Les figures ci-dessous présentent les deux configurations d'essais correspondantes respectivement à l'essai du PTS de référence (défini en Figure C.2) et à l'essai du PDA.

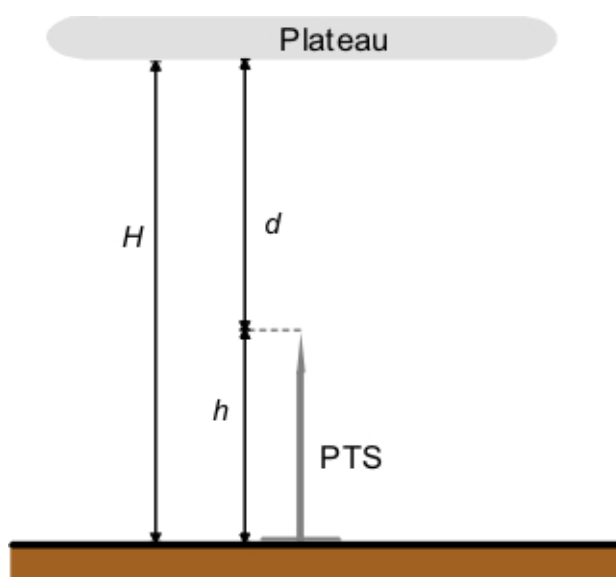


Figure C.3 – Montage expérimental du PTS

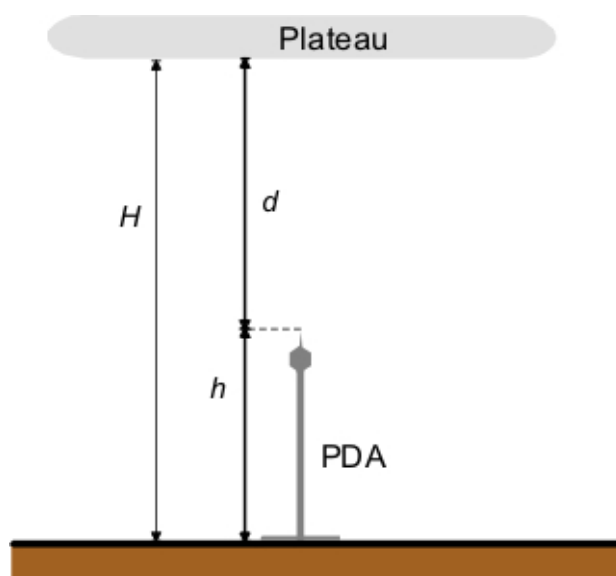


Figure C.4 - Montage expérimental du PDA

### **C.3.5.2 Conditions expérimentales**

L'efficacité d'un PDA est évaluée en comparant, en laboratoire haute tension, l'instant d'amorçage du traceur ascendant qu'il émet avec celui qu'émet un PTS.

Pour cela, le PTS et le PDA sont évalués l'un après l'autre dans les mêmes conditions électriques, géométriques et climatiques lors des essais en laboratoire simulant les conditions naturelles de démarrage de la décharge de capture (traceur positif ascendant).

#### **C.3.5.2.1 Simulation du champ au sol**

Le champ naturel au sol existant avant un coup de foudre a des conséquences sur les conditions de formation de l'effet couronne et des charges d'espace préexistantes. Il est par conséquent recommandé de le simuler en appliquant une tension continue négative qui crée des champs électriques entre le plateau et le sol compris entre -20 kV/m et -25 kV/m.

#### **C.3.5.2.2 Simulation du champ impulsionnel**

Le champ impulsionnel peut être simulé par un choc de manœuvre négatif avec un temps de montée compris entre 100  $\mu$ s et 1 000  $\mu$ s. Il convient que la pente de la forme d'onde lors de l'initiation de l'ascension soit comprise entre  $2 \cdot 10^8$  et  $2 \cdot 10^9$  V/m/s. Une forme d'onde type est de 250/2 500 conformément à la NF EN 60060-1 (seule la tolérance à l'avant est importante).

### **C.3.5.2.3 Grandeurs à contrôler - Mesures à effectuer**

#### **C.3.5.2.3.1 Paramètres électriques**

Les paramètres électriques à contrôler et à enregistrer sont la forme et l'amplitude des tensions appliquées (calibration du champ ambiant, onde de tensions impulsionnelle, courant associé) pour la PTS et le PDA.

Pour cela, les réglages qui doivent être effectués sont :

- la tension de polarisation continue ;
- l'onde impulsionnelle qui provoque l'amorçage sur le paratonnerre à tige simple : la tension à appliquer est déterminée par une procédure «up and down» simplifiée de sorte à obtenir la valeur U100 avec une précision finale de 1 %.

#### **C.3.5.2.3.2 Conditions géométriques**

La distance  $d$  doit être strictement la même (+/- 1 mm) dans chaque configuration d'essai ; elle est contrôlée avant chaque configuration. (Voir Figures C.3 et C.4)

#### **C.3.5.2.3.3 Paramètres climatiques**

Les conditions climatiques (pression, température, humidité relative) doivent être relevées en début, au milieu des essais de chaque série et en fin d'essais pour la configuration d'essai.

Pour que les configurations d'essais du PTS et du PDA soient considérées comme identiques (même tension U100), les variations des paramètres climatiques doivent respecter les valeurs définies dans le tableau ci-dessous. Sinon, il est recommandé de remesurer la tension U100 avant la configuration suivante.



**Tableau C.3 - Variation des paramètres climatiques lors des essais**

Paramètre	Variation pour les deux configurations d'essais
Pression	+/- 2 %
Température	+/- 10 °C
Humidité relative	+/- 20 %

Les valeurs sont notées dans le rapport d'essai, mais ne conduisent pas à des corrections.

#### **C.3.5.2.3.4 Nombre de chocs par configuration**

Pour chaque configuration, les 50 premiers chocs exploitables seront enregistrés. (Exemple de choc non exploitables : pré-amorçage du générateur). Le temps de relaxation entre chocs doit être de 2 min. Il convient de maintenir cette valeur tout au long des essais.

#### **C.3.5.2.3.5 Mesure de l'efficacité du PDA**

Le critère retenu pour l'évaluation de l'efficacité d'un PDA est sa capacité à amorcer un traceur ascendant avant un PTS placé dans les mêmes conditions et ceci de façon répétitive. On mesure pour chaque choc exploitable sur le PTS, puis sur le PDA, la valeur  $T$  de l'instant d'amorçage du traceur ascendant. Le temps  $T$  est mesuré entre le point d'intersection de l'axe des temps avec la courbe de tension impulsionnelle et le temps correspondant à la variation brusque de la pente de la tension impulsionnelle correspondant à un amorçage.

A partir des mesures des instants d'amorçage des traceurs ascendants issus d'un PTS et d'un PDA, on calcule les instants moyens d'amorçage  $T_{moy}'_{PTS}$  et  $T_{moy}'_{PDA}$  à partir des chocs exploitables, en respectant les paramètres). De même les écarts-types des deux distributions sont calculés ( $\sigma_{PTS}$  et  $\sigma_{PDA}$ ).

#### C.3.5.2.4 Détermination de l'efficacité du PDA

L'efficacité est déterminée par rapport à une onde de référence qui est définie par un temps de montée  $T_m = 650 \mu s$  et la forme définie par la Figure C.5.

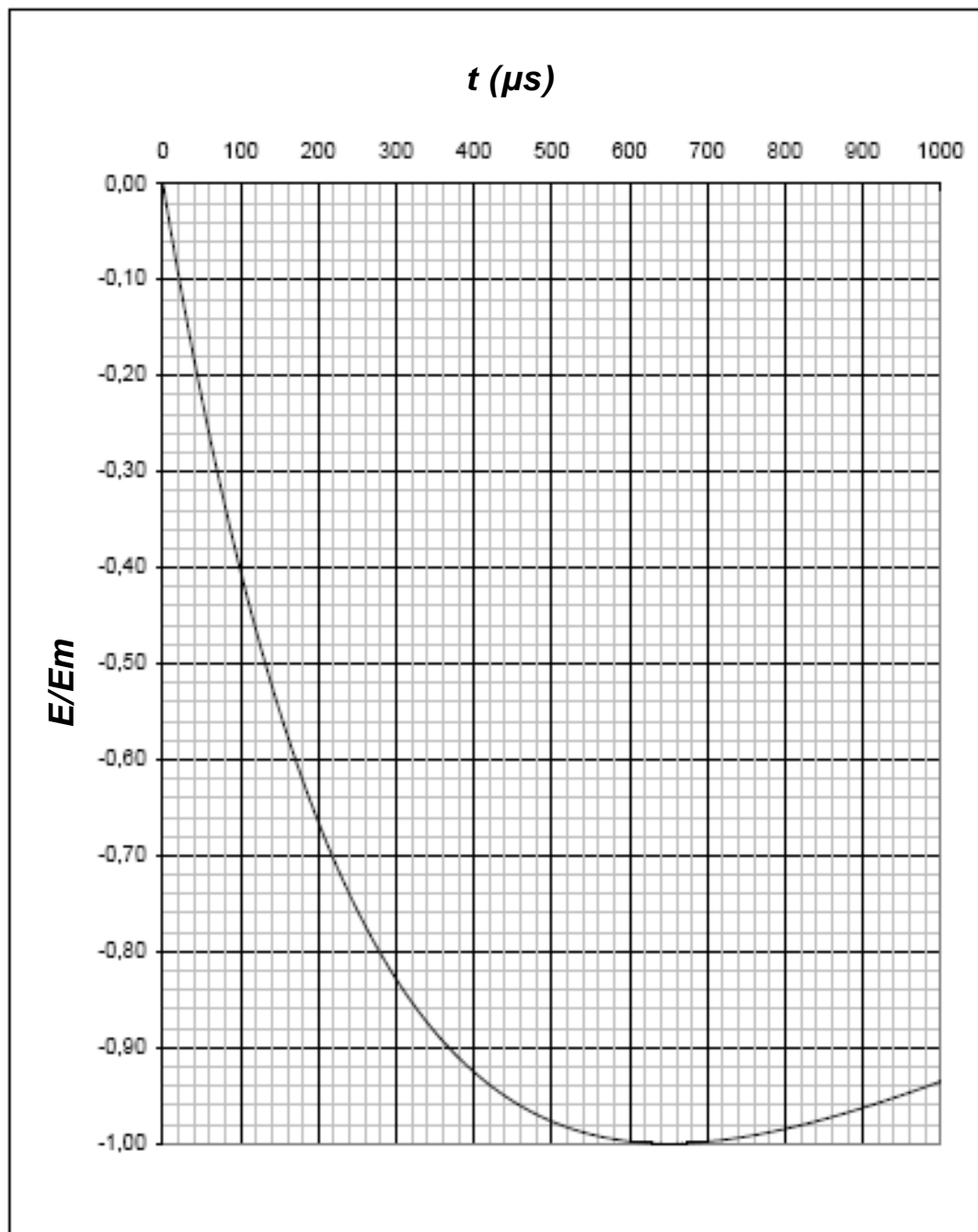


Figure C.5 – Onde de référence

Sur la forme d'onde de référence, à laquelle la valeur de champs  $E_m$  est fixée à la valeur de champ maximale expérimental  $E_{mexp}$  on juxtapose la courbe expérimentale.

$T_{moy}'_{PDA}$  et  $T_{moy}'_{PTS}$  sont liés aux champs  $E$  au moyen de la courbe expérimentale. On déduit de ces champs  $E$ , au moyen de la forme d'onde de référence, les instants d'amorçage ramenés à la courbe de référence  $T_{PTS}$  et  $T_{PDA}$  servant au calcul de l'efficacité  $\Delta T (\mu s) = T_{PTS} - T_{PDA}$ .

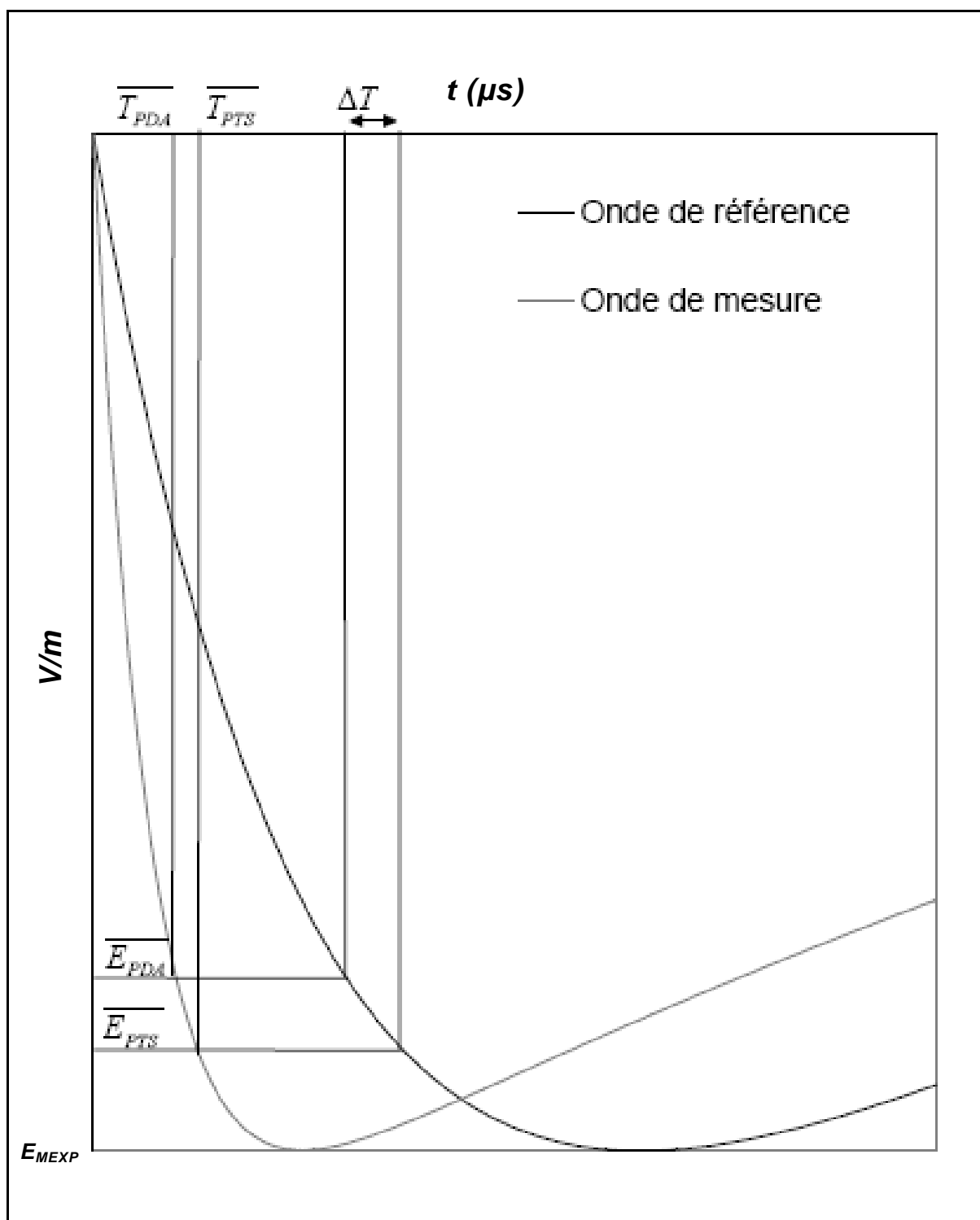


Figure C.6 - Principe de la correction graphique

#### C.3.5.2.5 Validation de l'effet PDA

Les valeurs moyennes  $T_{PDA}$  et  $T_{PTS}$  et les écarts-types  $\sigma_{PDA}$  et  $\sigma_{PTS}$  sont calculés.

Le paratonnerre soumis aux essais est un PDA si les conditions suivantes sont satisfaites :

- $T_{PDA} < T_{PTS}$
- $\Sigma_{PDA} < 0,8 \sigma_{PTS}$
- $T_{PTS} - T_{PDA} \geq 10 \mu s$

#### **C.4 Structure et contenu du rapport d'essai**

L'objectif de la présente instruction consiste à fournir des exigences générales à propos des rapports sur les essais de laboratoire. Le présent document a pour objectif de promouvoir des procédures de rapports claires et complètes destinées aux laboratoires qui soumettent des rapports d'essais.

Les résultats de chaque essai mené à bien par le laboratoire doivent être rapportés avec précision, clarté, sans ambiguïté et de façon objective, conformément aux instructions des méthodes d'essais. Les résultats doivent être rapportés sous forme d'un rapport d'essais et doivent inclure toutes les informations nécessaires pour l'interprétation des résultats des essais et toutes les informations requises par la méthode utilisée.

Une attention particulière doit être accordée à la constitution du rapport, en particulier en ce qui concerne la présentation des données d'essais et la facilité d'assimilation par le lecteur. Le format doit être soigneusement et particulièrement conçu pour chaque type d'essai mené à bien, mais les titres doivent être normalisés tel qu'indiqué dans le présent document.

La structure de chaque rapport doit au moins inclure ce qui suit :

- identification du rapport ;
- titre ou sujet du rapport ;
- nom, adresse et numéro de téléphone du laboratoire responsable des essais ;
- nom, adresse et numéro de téléphone du laboratoire auxiliaire où les essais ont été menés à bien s'il est différent de l'entreprise affectée à l'exécution des essais ;
- numéro d'identification unique (ou numéro de série) du rapport d'essai ;
- nom et adresse du vendeur/fabricant ;
- le rapport doit être paginé et le nombre total de pages indiqué ;
- date de publication du rapport ;
- date(s) d'exécution du/des essai(s) ;
- signature et titre ou identification équivalente de la/des personne(s) autorisée(s) à valider au nom du laboratoire d'essais le contenu du rapport ;
- signature et titre de la/des personne(s) responsable(s) des essais ;
- description de l'échantillon ;
- description détaillée et identification non ambiguë de l'échantillon d'essai et/ou de l'ensemble d'essai ;
- caractérisation et condition de l'échantillon d'essai et/ou de l'ensemble d'essai ;
- photographies, schémas ou toute autre documentation visuelle, le cas échéant ;
- normes et références ;
- identification de la norme d'essai utilisée et date de publication de la norme ;
- autre documentation pertinente avec la date de documentation ;
- procédure d'essai ;
- description de la procédure d'essai ;
- justification de tout écart, ajout ou exclusion par rapport à la norme référencée ;
- toute autre information pertinente pour un essai spécifique, par exemple, les conditions environnementales ;
- configuration de l'ensemble d'essai ;
- emplacement du dispositif dans la zone d'essai et techniques de mesure ;

- équipement d'essai, description ;
- description de l'équipement utilisé pour chaque essai mené à bien, par exemple. le générateur, etc. ;
- description des instruments de mesure ;
- caractéristiques et date d'étalonnage de tous les instruments utilisés pour mesurer les valeurs spécifiées dans la norme ;
- résultats et paramètres consignés ;
- les résultats mesurés, observés ou déduits doivent être clairement identifiés ;

NOTE ce qui précède doit être présenté sous la forme de tableaux, de graphiques, de schémas, de photographies ou autres documents d'observation visuelle appropriés.

- instruction de succès/échec identifiant la partie de l'essai pour laquelle l'échantillon a échoué et une description de l'échec. Elle doit être illustrée par des schémas, des photographies ou tout autre document d'observations visuelles approprié.

### **C.5 Entretien et maintenance des PDA**

Afin de vérifier le bon fonctionnement des PDA, le fabricant doit décrire dans une notice de vérification et de maintenance les dispositifs à prévoir pour l'entretien et la maintenance de son produit.

Cette notice doit contenir au minimum les informations suivantes :

- la ou les opérations à réaliser lors de la vérification visuelle du système de protection contre la foudre ;
- la ou les opérations à réaliser lors de la vérification complète du système de protection contre la foudre ;
- les équipements d'essai pouvant être nécessaires pour procéder à la vérification du produit ;
- les critères de bon fonctionnement du produit ;
- la démarche à suivre en cas de mauvais fonctionnement du produit.

Lorsque le PDA nécessite un entretien périodique particulier (par exemple, le remplacement d'un accumulateur), la notice fournie avec le produit doit le spécifier.

**Annexe D**  
(normative)  
**Protection des personnes contre les chocs électriques  
provoqués par la foudre**

**D.1 Mesures de protection contre les lésions d'êtres humains en raison des tensions de contact et de pas**

**D.1.1 Mesures de protection contre les tensions de contact**

A l'extérieur de la structure, à proximité des conducteurs de descente, dans des conditions particulières, la tension de contact peut être dangereuse même si le SPF extérieur à dispositif d'amorçage a été conçu et mis en œuvre conformément aux exigences citées ci-dessus.

Les risques pour les personnes peuvent être considérées comme négligeables si les conditions suivantes sont satisfaites :

- a) la probabilité pour que les personnes s'approchent et la durée de leur présence à l'extérieur de la structure et à proximité des conducteurs de descente est très faible ;
- b) les conducteurs naturels de descente sont constitués d'au moins 10 piliers de la structure métallique de la structure ou de plusieurs poteaux en acier interconnectés, assurant leur continuité électrique ;
- c) la résistance de contact de la couche de surface du sol, jusqu'à 3 m des conducteurs de descente, n'est pas inférieure à 100 kΩ.

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

Si aucune de ces conditions n'est satisfaite, des mesures de protection doivent être prises contre les lésions d'êtres vivants en raison des tensions de contact telles que :

- l'isolation des conducteurs de descente est assurée pour 100 kV, sous une impulsion de choc 1,2/50 μs, par exemple, par une épaisseur minimale de 3 mm en polyéthylène réticulé ;
- des restrictions physiques et/ou des pancartes d'avertissement afin de minimiser la probabilité de toucher les conducteurs de descente.

**D.1.2 Mesures de protection contre les tensions de pas**

A l'extérieur de la structure, à proximité des conducteurs de descente, dans des conditions particulières, la tension de pas peut être dangereuse même si le SPF à dispositif d'amorçage a été conçu et mis en œuvre conformément aux règles du présent document.

Les risques pour les personnes peuvent être considérées comme négligeables si les conditions suivantes sont satisfaites :

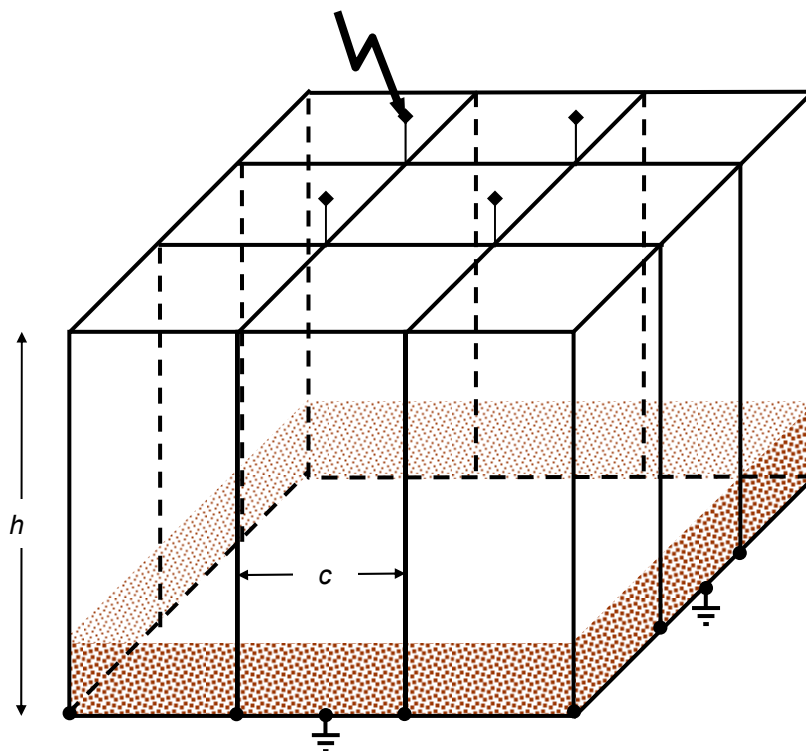
- a) la probabilité pour que les personnes s'approchent et la durée de leur présence à l'extérieur de la structure et à proximité des conducteurs de descente est très faible ;
- b) les conducteurs naturels de descente sont constitués d'au moins 10 piliers de la structure métallique de la structure ou de plusieurs poteaux en acier interconnectés, assurant leur continuité électrique ;
- c) la résistance de contact de la couche de surface du sol, jusqu'à 3 m des conducteurs de descente, n'est pas inférieure à 100 kΩ.

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

Si aucune de ces conditions n'est satisfaite, des mesures de protection doivent être prises contre les lésions d'êtres vivants en raison des tensions de pas telles que :

- équipotentialité au moyen d'un réseau de terre maillé ;
- des restrictions physiques et/ou des pancartes d'avertissement afin de minimiser la probabilité de toucher les conducteurs de descente, jusqu'à 3 m.

**Annexe E**  
(informative)  
**Exemple de valeurs de coefficient  $k_c$**



$$k_c = \frac{1}{2n} + 0,1 + 0,2\sqrt{\frac{c}{h}}$$

**avec**

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

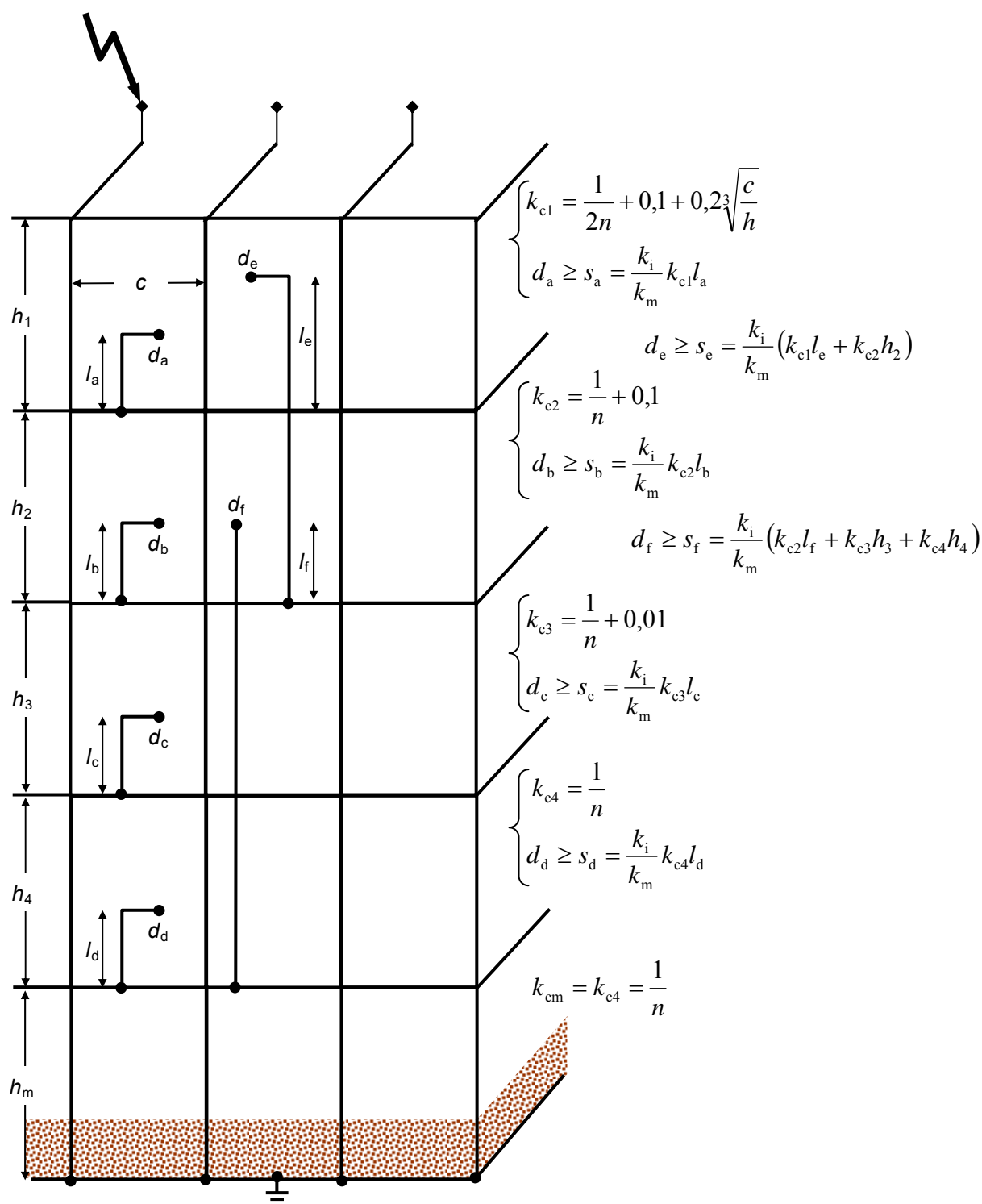
**Figure E.1 – Dans le cas d'un dispositif de capture constitué par de nombreux PDA interconnectés en toiture et d'une prise de terre de type B**

En cas d'utilisation de ceinturages intermédiaires supplémentaires pour équilibrer le courant de foudre écoulé autour de la structure ou comme moyens complémentaires de capture, la distance de sécurité se trouve améliorée (Figure E.2). Toutefois, pour les structures de très grande hauteur, le maintien réaliste de cette distance de séparation n'est plus possible.

NOTE Dans ce dernier cas, il convient d'interconnecter en toiture le SPF extérieur à la structure métallique du bâtiment.

Il est possible de calculer le partage du courant à chaque niveau de 1 à  $m$  en partant de la toiture, de  $k_{c1}$  à  $k_{cm}$ . A partir de cette valeur de partage de courant, on peut déterminer la distance de séparation à chaque niveau, de  $s_a$  à  $s_f$  dans l'exemple illustré à la Figure E.2. La distance au conducteur de descente le plus proche, de  $d_a$  à  $d_f$  dans l'illustration de la Figure E.2, doit être supérieure ou égale à la distance de séparation  $s_x$  calculée au préalable.





### Légende

- $n$  Nombre total de conducteurs de descente
- $c$  Distance entre deux conducteurs de descente contigus
- $h$  Distance (hauteur) entre ceinturages
- $m$  Nombre total de niveaux
- $d$  Distance au conducteur de descente le plus proche
- $l$  Hauteur au-dessus du point d'équipotentialité

**Figure E.2 – Exemples de calcul de distance de séparation dans le cas d'un réseau de conducteurs de descente interconnectés par des ceinturages**

## Bibliographie

- [1] NF EN 61643-21, *Parafoudres basse tension - Partie 21 : Parafoudres connectés aux réseaux de signaux et de télécommunications - Prescriptions de fonctionnement et méthodes d'essais* (Indice de classement : (C 61-744-21).
- [2] CEI 61643-22, *Parafoudres basse tension - Partie 22 : Parafoudres connectés aux réseaux de signaux et de télécommunications – Principes de choix et d'application.*
- [3] UTE C 17-108, *Analyse simplifiée du risque foudre*
- [4] Arrêté du 31 décembre 1999, *fixant la réglementation technique générale destinée à prévenir et limiter les nuisances et les risques externes résultant de l'exploitation des installations nucléaires de base (version consolidée au 25 mars 2011).*
- [5] Arrêté du 19 novembre 2001, *portant approbation de dispositions complétant et modifiant le règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public.*
- [6] Arrêté du 5 août 2002, *relatif à la prévention des sinistres dans les entrepôts couverts soumis à autorisation sous la rubrique 1510.*
- [7] Circulaire du 24 avril 2008, *relative à l'arrêté du 15 janvier 2008 relatif à la protection contre la foudre de certaines installations classées.*
- [8] Recommandations UIT K.46, *Protection des lignes de télécommunication à conducteurs métalliques symétriques contre les surtensions induites par la foudre.*
- [9] Recommandations UIT K.47, *Protection des lignes de télécommunication à conducteurs métalliques contre les décharges directes de foudre.*
- [10] Directive RTTE n° 1999/5/CE, du 9 mars 1999, *concernant les équipements hertziens et les équipements terminaux de télécommunications et la reconnaissance mutuelle de leur conformité.*

---

**Protection contre la foudre****UTE/UF 81**

---

**Liste des organismes représentés dans la commission de normalisation**

Secrétariat : UTE

ADEME (AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT & DE LA MAITRISE DE L'ENERGIE)

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 Génie Numérique Energétique et Sécuritaire)

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