

protection contre la foudre

protection des structures contre la foudre

installation de paratonnerres

E : Protection of structures against lightning
Installation of lightning Protective system

D : Blitzschutz des Gebäude durch Blitzableiter

Norme française homologuée

par décision du Directeur Général d'afnor le 20 novembre 1997 pour prendre effet à compter du 20 décembre 1997.

Remplace la norme homologuée NF C 17-100 de février 1987.

Correspondance Cette norme correspond à la pré-norme Européenne ENV 61024-1.

Analyse Ce document décrit les principales dispositions destinées à assurer la protection des bâtiments contre les coups de foudre directs par paratonnerre. Le principe de la protection des bâtiments contre la foudre est basé sur le modèle électrogéométrique.

Descripteurs Foudre, dispositifs de capture, conducteurs de descente, conducteurs de terre, prises de terre.

Modifications

Corrections

AVANT-PROPOS

La présente norme indique les dispositions à prendre pour concevoir, dans l'état actuel des connaissances et de la technique, une protection contre la foudre satisfaisante des structures (bâtiments, installations fixes, ...) et des zones ouvertes (zones de stockage, aires de détente ou sportives, ...) par paratonnerre et donne des directives sur les moyens de réaliser cette protection.

La décision de munir une structure d'un système de protection dépend des facteurs suivants : la probabilité de foudroiement de la structure, sa gravité et ses conséquences acceptables. Le choix se fait à l'aide des paramètres contenus dans le guide d'évaluation du risque (Annexe B de la présente norme).

Parmi les structures qui peuvent ainsi nécessiter l'installation d'un système de protection contre la foudre, on peut citer :

- les bâtiments recevant du public,*
- les immeubles de grande hauteur et, d'une manière générale, les constructions élevées (pylônes, châteaux d'eau, phares, ...),*
- les bâtiments et dépôts renfermant des matières dangereuses (explosives, inflammables, toxiques, ...),*
- les bâtiments contenant des équipements ou des documents particulièrement vulnérables ou précieux (par exemple, installations de télécommunications, ordinateurs, dépôts d'archives, musées, monuments historiques, ...),*

On s'attachera, dès le stade de la conception de la structure, puis de l'installation :

- à prendre en compte tous les éléments qui doivent être utiles à la réalisation d'une installation répondant à cette norme en consultant les professionnels concernés : concepteurs, réalisateurs, installateurs, utilisateurs, etc.*
- à prévoir d'utiliser, en complément, lorsque cela est possible, les éléments conducteurs des structures à protéger.*

Les dispositions indiquées dans la présente norme constituent des conditions minimales permettant d'assurer une protection statistiquement efficace.

Cette norme se fonde sur le prénorme européenne ENV 61024-1 : Protection des structures contre la foudre.

L'arrêté du 28 janvier 1993 relatif à la protection de certaines installations classées contre les effets de la foudre fait référence à cette norme.

Cette norme annule et remplace la norme NF C 17-100 de Février 1987.

La présente norme a été adoptée par le Comité de Direction de l'UTE le 3 septembre 1997.

SOMMAIRE

Introduction		2
1	Généralités	2
1.1	Domaine d'application et objet	2
1.2	Termes et définitions	3
1.3	Structures en béton armé	6
1.4	Niveaux de protection	7
1.5	Paramètres du courant de foudre	7
1.6	Conception du système de protection	7
2	Installation extérieure de protection contre la foudre	8
2.0	Généralités	8
2.1	Dispositifs de capture	8
2.2	Conducteurs de descente	12
2.3	Prises de terre	16
2.4	Fixations et raccordements	19
2.5	Matériaux et dimensions	20
3	Equipotentialité des masses et des éléments conducteurs - Installation intérieure de protection contre la foudre (IIPF)	21
3.1	Généralités	21
3.2	Equipotentialité des éléments conducteurs extérieurs	22
3.3	Equipotentialité des éléments conducteurs noyés dans les parois	22
3.4	Equipotentialité des masses et des éléments conducteurs intérieurs Installation intérieure de protection contre la foudre	23
4	Vérification, maintenance	23
4.1	Vérification initiale	23
4.2	Vérification périodique	24
4.3	Maintenance	24
 Annexes		
A	Volume protégé par un dispositif de capture	25
B	Guide d'évaluation du risque de foudroiement et choix du niveau de protection pour une IEPF	27
C	Paramètres du courant de foudre	29

INTRODUCTION

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

A ce jour, aucun dispositif ou méthode n'a été scientifiquement justifié comme apte à empêcher la foudre de se produire et de frapper des structures.

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

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

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

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

La présente norme fournit des informations relatives à la réalisation de systèmes de protection contre la foudre (SPF), destinées aux structures habituelles.

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

1 Généralités

1.1 Domaine d'application et objet

1.1.1 Domaine d'application

La présente norme fournit des informations relatives à la conception, la réalisation, la vérification et l'entretien des systèmes de protection contre la foudre (SPF) qui utilisent des tiges simples, des fils tendus et des conducteurs maillés comme dispositifs de capture pour la protection des structures contre la foudre comme défini au paragraphe 1.1.2, ainsi que pour la protection des personnes, des installations et des objets qu'elles contiennent.

NOTE - Des dispositifs de capture autres que ceux mentionnés dans la présente norme tels que les paratonnerres à dispositif d'amorçage existent, mais ne font pas l'objet de la présente norme. Ils sont pris en compte dans les normes élaborées par les comités nationaux de certains pays, en particulier, la norme NF C 17-102.

1.1.2 Objet

La présente norme est applicable à la conception et à la réalisation de systèmes de protection contre la foudre, comme défini au paragraphe 1.1.1, destinés aux structures habituelles dont la hauteur n'est pas supérieure à 60 m.

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

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

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

Des prescriptions complémentaires à celles spécifiées dans la présente norme, sont nécessaires dans le cas de :

- structures élevées (hauteur supérieure à 60 m) ;
- structures dangereuses pour leur environnement en raison du risque d'explosion et de propagation d'incendie ;
- structures dangereuses pour leur environnement en raison de possibles émissions de substances toxiques, radioactives, contaminées ou polluées ;
- structures temporaires et en cours de construction ;
- tentes, campings et terrains de sports ;
- d'installations et de matériels électroniques sensibles aux surtensions.

NOTE - Les composants utilisés pour la mise en oeuvre d'un système de protection contre la foudre sont traités dans l'EN 50164 : Composants de protection contre la foudre (à l'étude au niveau européen). Dans l'attente, on se référera au tableau 8 de la présente norme.

1.2 Termes et définitions

Les définitions suivantes sont applicables dans le cadre de la présente norme. La figure 1 explicite les définitions du coup de foudre ou de l'éclair à la terre.

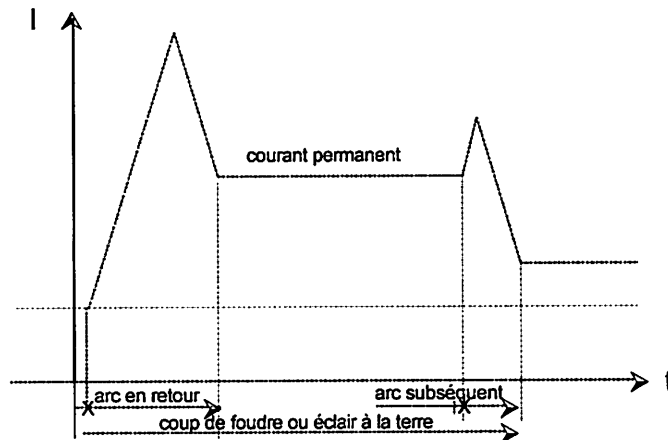


figure 1 : Coup de foudre ou éclair à la terre

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

1.2.2 arc en retour : L'une des décharges électriques lors d'un coup de foudre ou éclair à la terre.

1.2.3 point d'impact : Point où un coup de foudre frappe la terre, une structure ou une installation de protection contre la foudre.

1.2.4 courant de foudre (i) : Courant qui s'écoule au point d'impact.

1.2.5 valeur crête du courant (I) : Valeur maximale du courant de foudre.

1.2.6 raideur moyenne du courant de foudre (di/dt) : Taux moyen de changement de courant d'arc en retour entre 30% et 90% de l'amplitude de crête sur le front de montée.

$$di/dt = (I_{90} - I_{30}) / (t_{90} - t_{30})$$

1.2.7 durée du coup de foudre (T) : Temps pendant lequel le courant de foudre s'écoule au point d'impact.

1.2.8 charge totale (Qtotal) : L'intégrale par rapport au temps du courant de foudre pendant la durée totale du coup de foudre.

1.2.9 charge impulsionnelle (Qimp) : L'intégrale par rapport au temps du courant de foudre pendant la durée de l'arc en retour.

1.2.10 énergie spécifique (ES) : Energie dissipée par le courant de foudre dans une résistance de valeur unité. C'est l'intégrale par rapport au temps du carré du courant de foudre pour la durée du coup de foudre.

1.2.11 coup de foudre direct : Coup de foudre qui frappe directement la structure ou son système de protection contre la foudre.

1.2.12 coup de foudre indirect : Coup de foudre qui frappe le sol à proximité de la structure, ou les réseaux (électricité, eau, gaz, communication, etc.) qui pénètrent dans la structure.

1.2.13 fréquence des coups de foudre directs (Nd) : Nombre moyen annuel prévisible de coups de foudre directs sur une structure.

1.2.14 structures habituelles : Structures utilisées dans des buts ordinaires, commerciaux, industriels, agricoles, publics ou résidentiels (voir tableau B.1).

1.2.15 structure ou espace à protéger : Structure ou espace pour lesquels une protection contre les effets de la foudre, conforme à la présente norme, est nécessaire.

1.2.16 volume protégé : Volume théoriquement protégé par le système de protection contre la foudre.

1.2.17 fréquence acceptée des coups de foudre (Nc) : Nombre maximal moyen annuel acceptable de coups de foudre pouvant entraîner des dommages à la structure.

1.2.18 risque de dommage (Rd) : Moyenne annuelle probable de pertes (humaines et biens) dues à la foudre dans une structure.

1.2.19 système de protection contre la foudre (SPF) : Installation complète, permettant de protéger une structure contre les effets de la foudre. Elle comprend à la fois une installation extérieure et une installation intérieure de protection contre la foudre.

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

1.2.20 efficacité du système de protection contre la foudre (E) : Rapport entre le nombre annuel moyen de coups de foudre directs n'entraînant pas de dommages sur la structure et le nombre de coups de foudre directs sur la structure.

1.2.21 niveau de protection : Terme donnant la classification d'un système de protection contre la foudre vis-à-vis de son efficacité.

NOTE - Il exprime la probabilité selon laquelle un système de protection contre la foudre protège un volume contre les effets de la foudre.

1.2.22 installation extérieure de protection contre la foudre (IEPF) : Elle comprend un ou des dispositif(s) de capture, des conducteurs de descente et une prise de terre.

1.2.23 installation intérieure de protection contre la foudre (IIPF) : Elle comprend tous les dispositifs complémentaires de ceux énumérés au paragraphe 1.2.22, réduisant les effets électromagnétiques du courant de foudre à l'intérieur de l'espace à protéger.

1.2.24 liaison équipotentielle : Liaison électrique mettant au même potentiel, ou à des potentiels voisins, des masses et des éléments conducteurs.

1.2.25 dispositif de capture : Partie de l'installation extérieure destinée à intercepter la foudre.

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

1.2.27 conducteur de ceinturage : Conducteur constituant une boucle autour de la structure et réalisant les interconnexions des conducteurs de descente pour une bonne répartition du courant de foudre.

1.2.28 prise de terre : Partie de l'installation extérieure en contact électrique avec la terre destinée à conduire et à dissiper le courant de foudre à la terre.

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

1.2.29 électrode de terre : Élément de la prise de terre assurant un contact électrique direct avec la terre.

1.2.30 électrode de terre en boucle : Electrode formant une boucle fermée autour de la structure.

1.2.31 électrode de terre en fond de fouille : Electrode de terre noyée dans les fondations en béton de la structure.

1.2.32 (disponible).

1.2.33 (disponible).

1.2.34 composant "naturel" de l'installation de protection contre la foudre : Composant assurant une fonction de protection contre la foudre, mais non installé spécifiquement à cet effet.

NOTE - Des exemples d'utilisation de ce terme sont :

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

1.2.35 éléments conducteurs : Eléments métalliques répartis dans l'espace à protéger, ou services métalliques entrant ou quittant la structure à protéger pouvant écouler une partie du courant foudre tels que guides d'ascenseur, conduits de ventilation, de chauffage et d'air conditionné, armatures d'acier interconnectées, façades métalliques, canalisations d'eau, de gaz, écrans de câbles, etc.

1.2.36 (disponible).

1.2.37 barre (borne) principale de terre : Barre ou borne permettant de relier à l'installation de protection contre la foudre les éléments conducteurs, les masses, les lignes électriques et de télécommunication et d'autres câbles.

1.2.38 conducteur d'équipotentialité : Conducteur permettant d'assurer l'équipotentialité.

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

1.2.40 étincelle dangereuse : Arc électrique provoqué par le courant de foudre à l'intérieur de la structure ou de l'espace à protéger.

1.2.41 distance de sécurité : Distance minimale entre deux éléments conducteurs à l'intérieur de la structure ou de l'espace à protéger, telle qu'aucune étincelle dangereuse ne puisse se produire entre eux.

1.2.42 parafoudre : Dispositif destiné à limiter les surtensions transitoires et à dériver les ondes de courant. Il contient au moins un composant non linéaire.

1.2.43 joint de contrôle - borne de coupure (ou borne de mesure) : Dispositif conçu et placé de manière à faciliter les essais et mesures électriques des éléments de l'installation de protection contre la foudre.

1.2.44 installation extérieure isolée de la structure à protéger : Installation extérieure dont le dispositif de capture et les descentes sont mis en oeuvre de manière que le trajet du courant de foudre n'ait aucun contact avec la structure à protéger.

1.2.45 installation extérieure non isolée de la structure à protéger : Installation extérieure dont le dispositif de capture et les descentes sont mis en oeuvre de manière que le trajet du courant de foudre soit en contact avec la structure à protéger.

1.3 Structures en béton armé

Lorsque les armatures métalliques des structures en béton armé sont présumées comme assurant une continuité électrique, elles doivent satisfaire aux trois conditions suivantes :

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

NOTE : En France, cette continuité électrique n'est pas systématiquement réalisée, ni contrôlée.

1.4 Niveaux de protection

Les caractéristiques du système de protection contre la foudre prescrit sont fonction des caractéristiques de la structure à protéger et des niveaux de protection à réaliser.

Quatre niveaux de protection différents sont considérés dans cette norme.

L'efficacité d'un système de protection contre la foudre décroît du niveau de protection I au niveau de protection IV. La relation entre les niveaux de protection et l'efficacité est donnée dans le tableau 1 pour le choix du niveau de protection.

Tableau 1 - Relation entre niveaux de protection et efficacité

Niveaux de protection	E = Efficacité calculée
I + mesures complémentaires	$E > 0,98$
I	$0,95 < E \leq 0,98$
II	$0,90 < E \leq 0,95$
III	$0,80 < E \leq 0,90$
IV	$0 < E \leq 0,80$

Le niveau de protection approprié doit être défini par une évaluation du risque de dommage.

Un exemple de méthode d'évaluation est donné en annexe B.

1.5 Paramètres du courant de foudre

Les valeurs des paramètres de foudre correspondant aux niveaux de protection sont données dans le tableau 2.

Tableau 2 - Valeurs des paramètres de foudre correspondant aux niveaux de protection

Paramètre	Symbole	Unité	Niveaux de protection		
			I	II	III - IV
Valeur crête du courant	I	kA	200	150	100
Charge totale	Q _{tot}	C	300	225	150
Charge impulsionnelle	Q _{imp}	C	100	75	50
Energie spécifique	ES	kJ/Ω	10.000	5.600	2.500
Raideur moyenne	di/dt	kA/μs	200	150	100

La distribution statistique des paramètres du courant de foudre et de ses effets sur le SPF est donnée en annexe A.

NOTE : Les paramètres du tableau 2 sont des paramètres d'étude et ne correspondent pas aux paramètres d'essais des matériels car il faut tenir compte des atténuations et de la répartition du courant. Il s'agit de paramètres de choc de foudre au point d'impact avec une probabilité de 99 % pour le niveau 1. Pour les autres niveaux, les valeurs s'en déduisent par un rapport de 0,75 et de 0,5 des valeurs de la première colonne (Niveau I).

1.6 Conception du système de protection contre la foudre

Une conception optimale sur les plans technique et économique d'un système de protection contre la foudre n'est possible que si les stades de sa conception sont liés à ceux de la construction de la structure à protéger. En particulier, l'utilisation possible de parties métalliques de la structure comme parties du système de protection contre la foudre devra être prévue lors de la conception de la structure.

2 Installation extérieure de protection contre la foudre

2.0 Généralités

L'installation extérieure de protection contre la foudre est destinée à intercepter les coups de foudre directs, à conduire le courant de foudre entre le point d'impact et la terre et à le disperser sans dommages thermiques ou mécaniques pour la structure à protéger et sans surtensions dangereuses pour les personnes.

2.0.1 Choix du type de l'installation extérieure de protection contre la foudre

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

L'utilisation d'une installation extérieure isolée de la structure (voir 1.2.44) peut convenir s'il est prévisible que des changements de structures, de contenu ou d'utilisation du volume à protéger peuvent entraîner des modifications de cette installation.

NOTES

1 Une installation extérieure isolée de la structure (voir 1.2.44) devrait être réalisée si les effets thermiques au point d'impact ou sur des conducteurs écouant le courant de foudre peuvent entraîner des dommages sur la structure ou sur le contenu du volume à protéger. Dans ce cas, un écart minimal de 30 mm obtenu par des supports isolants (PVC, etc.) sera respecté entre le conducteur et les parois combustibles.

2 Des exemples pouvant nécessiter une installation extérieure isolée de la structure sont :

- des structures avec un revêtement combustible;
- des structures avec des parois combustibles;
- des zones à risque d'explosion et d'incendie.

Des étincelles dangereuses doivent être évitées :

- dans une installation extérieure isolée, par l'isolation et la séparation conformément à 3.2.
- dans une installation extérieure non isolée (voir 1.2.45), par équipotentialité conformément à 3.1 ou par isolation et séparation conformément à 3.1.2.

2.0.2 Composants de l'installation extérieure de protection contre la foudre

Tous les composants de l'installation extérieure de protection contre la foudre doivent être choisis conformément aux indications du tableau 8.

2.0.3 Utilisation des composants naturels

Les composants naturels qui resteront toujours dans la structure et qui ne seront pas modifiés et dont la résistance est évaluable (par exemple armatures d'acier interconnectées, structures métalliques, etc.) peuvent être utilisés comme un des constituants de l'installation extérieure de protection (voir 2.1.3, 2.2.5 et 2.3.6).

NOTE - Les composants naturels ne devraient être utilisés comme partie du système de protection qu'avec l'accord du responsable de la structure ou du propriétaire. Dans ce cas, les points de connexion devront être prévus lors de la construction.

Les autres composants naturels peuvent être utilisés comme compléments à l'installation extérieure de protection.

2.1 Dispositifs de capture

2.1.1 Généralités

La probabilité d'un impact de foudre à l'intérieur de la structure à protéger est considérablement réduite par la présence d'un dispositif de capture convenablement conçu. Les dispositifs de capture peuvent être constitués par une combinaison quelconque des composants suivants :

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

NOTE - Dans le cas d'une combinaison avec un paratonnerre à dispositif d'amorçage (PDA), les prescriptions de la norme NF C 17-102 sont applicables au PDA.

2.1.2 Positionnement

La position du dispositif de capture est déterminée suivant le principe du modèle électrogéométrique. Trois méthodes d'application peuvent être utilisées. Ce sont les méthodes de "la sphère fictive", de "l'angle de protection " et "des mailles".

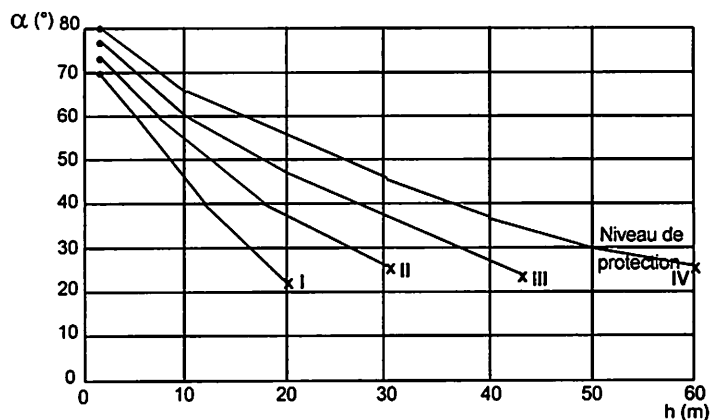
Pour la plupart des formes simples de bâtiments, la méthode de l'angle de protection est appropriée, mais la méthode de la sphère fictive est conseillée pour des formes plus complexes.

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

Les valeurs de l'angle de protection, du rayon de la sphère fictive et des dimensions des mailles sont données dans le tableau 3 conformément au niveau de protection défini. Le positionnement du dispositif de capture est donné en annexe B.

Tableau 3 : Angle de protection, rayon de la sphère fictive et taille des mailles selon le niveau de protection

Niveau de protection	Rayon sphère fictive R (m)	Taille mailles M (m)	Angle de protection α (°)
I	20	5 X 5	Voir figure
II	30	10 X 10	
III	45	15 X 15	
IV	60	20 X 20	



NOTES

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

2 - h est la hauteur du dispositif de capture au-dessus du volume à protéger.

2.1.3 Composants "naturels"

Les parties suivantes de structures peuvent être considérées comme dispositifs de capture "naturels" à la condition que la continuité soit assurée et que les conditions suivantes soient satisfaites :

- a) les tôles métalliques recouvrant la structure à protéger, sous réserve que :
 - la continuité électrique entre les différentes parties soit réalisée de façon durable (par exemple par brasage, soudage, sertissage, vissage ou boulonnage) ;
 - l'épaisseur des tôles métalliques ne soit pas inférieure à la valeur t figurant dans le tableau 4, de façon à les protéger contre les perforations ou à éviter les problèmes de points chauds ;
 - elles ne soient pas revêtues de matériau isolant ;
 - les matériaux non métalliques sur ou au-dessus des tôles métalliques soient exclus de la structure à protéger ;
- b) les éléments métalliques de construction du toit (fermes, armatures d'acier interconnectées, etc.) recouverts de matériaux non métalliques, à condition que ces derniers puissent être exclus de la structure à protéger ;
- c) les pièces métalliques du type gouttières, décorations, rambardes, etc., dont la section n'est pas inférieure à celle qui est spécifiée pour les composants normaux du dispositif de capture ;
- d) les tuyaux et réservoirs métalliques en général, s'ils sont réalisés en un matériau d'épaisseur non inférieure à la valeur appropriée de t figurant dans le tableau 4, et si l'élévation de température de la surface intérieure au point d'impact ne constitue pas un danger.

Tableau 4 - Epaisseur minimale des tôles ou canalisations métalliques du dispositif de capture

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

NOTES

1 Une légère couche de peinture protectrice (inférieure à 500 microns) ou de 1 mm d'asphalte ou de 0,5 mm de PVC n'est pas considérée comme une isolation.

2 Dans le cas où un risque de perforation ou de point chaud des tôles ou canalisations métalliques est toléré, des matériaux d'épaisseur plus faible peuvent capter et évacuer les courants de foudre. Les valeurs des épaisseurs minimales données dans le tableau 5 devront être respectées.

Tableau 5 : Epaisseur minimale des tôles ou canalisations métalliques pour lesquelles un risque de perforation ou de point chaud est toléré

Structure	Acier galvanisé (mm)	Acier inoxydable (mm)	Cuivre (mm)	Aluminium/Zinc (mm)	Plomb (mm)
Tôle	0,5	0,4	0,5	0,7	2
Tuyaux et réservoirs métalliques	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5

2.1.4 Mise en oeuvre

2.1.4.1 Paratonnerre à tige simple

Les paratonnerres à tige simple ont une hauteur de 2 à 8 m. Ils présentent une pointe très effilée (diamètre du corps : 18 mm minimum).

Ils peuvent être constitués d'un ou de plusieurs éléments de même nature ou compatibles, à condition que leur continuité électrique soit assurée.

Ils sont fixés de telle sorte qu'ils résistent aux intempéries et répondent aux règles Neige et Vent N.V.65.

En cas de haubanage par des câbles conducteurs, ceux-ci sont reliés, aux points d'ancrage bas, aux conducteurs de descente par des conducteurs répondant aux exigences du tableau 8.

Si l'installation extérieure comprend plusieurs tiges pour une même structure, celles-ci sont reliées entre elles par un conducteur répondant aux exigences du tableau 8 fixé sur la base de trois fixations au mètre (tous les 30 cm environ).

Cette liaison n'est pas réalisée si elle doit franchir un obstacle de structure (corniche, acrotère) de dénivelé positif ou négatif supérieur à 1,50 m (voir figure 2).

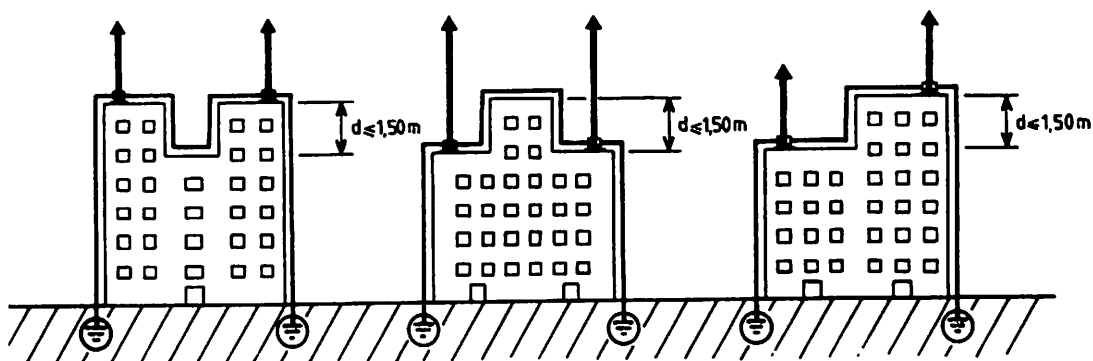


Figure 2 - installation extérieure avec plusieurs tiges

$d < 1,50$ m : liaison impérative

$d > 1,50$ m : ne pas relier

Au moins deux conducteurs de descente sont nécessaires par tige pour une longueur de parcours supérieure à 35 m. Ces conducteurs de descente doivent être disposés sur deux façades différentes.

2.1.4.2 Fils tendus

Ce système est composé d'un ou de plusieurs fils conducteurs tendus (voir tableau 8) au-dessus des installations à protéger.

Lorsque les supports des fils ne sont pas conducteurs, le dispositif de capture doit être complété par la mise en place de pointes captrices solidement fixées en tête des supports et reliées à la terre.

Lorsque les supports sont métalliques, ils participent au dispositif de capture et la mise en place de pointes captrices est inutile.

En cas de haubanage des supports, qu'il s'agisse de supports conducteurs ou non, les haubans sont reliés à la terre.

L'installation de fils tendus nécessite une étude particulière tenant compte notamment de la tenue mécanique, de la nature de l'installation, des distances d'isolement, etc.

2.1.4.3 Conducteurs maillés

Pour les paratonnerres à cage maillée, les conducteurs de toiture (voir tableau 8) forment un polygone fermé dont le périmètre est voisin du pourtour de la toiture. Ce polygone est complété par des transversales dont l'une suit le faîtage (conducteur de faîte) et dont les autres relient les pointes au polygone.

Les pointes captrices, destinées à servir de point de capture ou d'amorçage, sont placées verticalement aux points les plus vulnérables des bâtiments. Leur nombre est suffisant si la distance entre deux pointes sur une toiture ne comportant pas de parties saillantes n'est pas supérieure à 10 m pour des pointes de 30 cm et à 15 m pour des pointes de 50 cm. Leur diamètre n'est pas inférieur à 18 mm.

Les pointes distantes de moins de 5 m du polygone sont reliées à ce polygone par un seul conducteur.

Les pointes éloignées de plus de 5 m du polygone sont reliées à celui-ci par deux conducteurs de direction opposée formant une transversale.

Les dimensions des mailles ainsi formées doivent être conformes aux valeurs du tableau 3.

Le contournement des acrotères ou corniches importants est évité. Des réservations sont prévues pour laisser aux conducteurs le passage le plus direct possible.

2.2 Conducteurs de descente

2.2.1 Généralités

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

- a) le courant suive plusieurs trajets en parallèle ;
- b) la longueur de ces trajets soit réduite au minimum ;
- c) une équipotentialité soit réalisée partout où nécessaire (voir distance de sécurité, 3.1.2).

Le nombre et la géométrie des conducteurs de descente et de ceinturage affectent la distance de sécurité (paragraphe 3.1.2).

2.2.2 Dispositions pour les installations extérieures isolées

Pour la définition, se reporter à 1.2.44.

- a) si le dispositif de capture est constitué de tiges sur des mâts séparés (ou un seul mât), au moins un conducteur de descente est nécessaire par mât. Si les mâts sont en métal ou s'il existe une armature d'acier interconnectée, aucun conducteur de descente supplémentaire n'est nécessaire.
- b) si le dispositif de capture comporte des fils tendus (ou un seul fil), au moins un conducteur de descente est nécessaire à l'extrémité de chacun des fils.
- c) si le dispositif de capture constitue un réseau de conducteurs, au moins une descente est nécessaire pour chaque structure porteuse.

2.2.3 Dispositions pour les installations extérieures non isolées

Pour la définition, se reporter à 1.2.45.

a) dispositif de capture par tige

Si le dispositif de capture comporte une seule tige, un conducteur de descente, au moins, est nécessaire.

Si le dispositif de capture comporte plusieurs tiges, un conducteur de descente, au moins, est nécessaire pour chaque tige (voir 2.1.4.3).

Les clochers, tours, minarets et beffrois sont des points d'impacts préférentiels de la foudre en raison de leur prééminence.

De ce fait, leur dispositif de capture est systématiquement relié à une descente directe réalisée le long du clocher et à une deuxième descente qui prend son origine au sommet du clocher et emprunte le faîtage de la nef. (Si une croix ou une statue non métallique est située à l'extrémité de la nef, celle-ci est munie d'une pointe caprice).

b) dispositif de capture sur fils tendus

Si le dispositif de capture comporte des fils tendus, au moins un conducteur de descente est nécessaire à chaque extrémité de fil.

c) dispositif de capture par cage maillée

Si le dispositif de capture comporte des mailles, deux conducteurs de descente, au moins, sont nécessaires répartis autour du périmètre de la structure à protéger.

Les distances moyennes entre conducteurs de descente sont données dans le tableau 6.

Tableau 6 - Distances entre conducteurs de descente d'une cage maillée en fonction du niveau de protection

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

NOTE - Des distances égales entre conducteurs de descente autour du périmètre du bâtiment sont préférées. Un conducteur de descente devra, autant que possible, se situer à chaque angle de la structure.

En cas d'absence d'interconnexion enterrée des prises de terre, les conducteurs de descente doivent être interconnectés au niveau du sol.

2.2.4 Mise en oeuvre

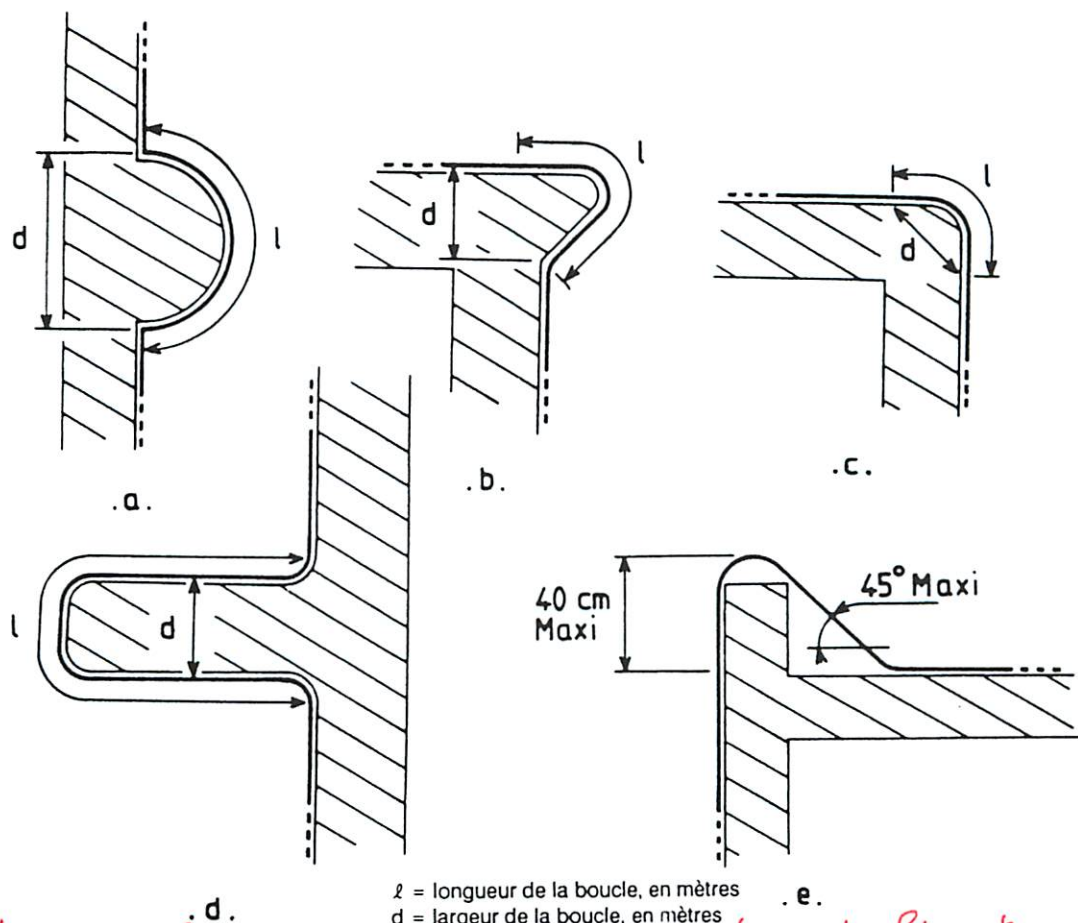
Les conducteurs de descente doivent être disposés de manière à être, autant que possible, en continuité directe avec les dispositifs de capture.

Les conducteurs de descente doivent être installés de façon rectiligne et verticale, en suivant le trajet le plus court et le plus direct possible à la terre. La formation de boucles doit être évitée. Si cela s'avère impossible, la distance (d), mesurée directement entre deux points du conducteur et la longueur (l) de la boucle entre ces deux points doivent être conformes aux prescriptions de la figure 3.

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

Les conducteurs de descente des installations non isolées de la structure à protéger peuvent être installés de la manière suivante :

- si le mur est réalisé en matériau non combustible, les conducteurs de descente peuvent être fixés directement sur la surface du mur ou dans le mur;
- si le mur est réalisé en matériau inflammable, les conducteurs de descente peuvent être fixés directement sur la surface des murs, pour autant que l'élévation de température due à l'écoulement du courant de décharge atmosphérique ne soit pas dangereuse pour le matériau du mur;
- si le mur est réalisé en matériau inflammable et si l'élévation de température des conducteurs de descente est dangereuse, ces conducteurs doivent être placés de manière que la distance entre ces derniers et la structure à protéger soit toujours supérieure à 0,03 m.



Pas de danger de claquage diélectrique si la condition $d > \lambda/20$ est respectée.
 Figure 3 - Formes de coudes d'un conducteur de descente de paratonnerre

2.2.5 Composants "naturels"

Les éléments suivants de la structure peuvent être considérés comme des descentes "naturelles" à condition que la continuité soit assurée et que la vérification de la résistance entre le point de raccordement au circuit de capture et le point de raccordement à la prise de terre du composant naturel soit effectuée (résistance inférieure à $0,5 \Omega$) :

a) les équipements métalliques, à condition que :

- la continuité électrique entre les différents éléments soit réalisée de façon durable, conformément aux prescriptions du paragraphe 2.4.2 ;
- leurs dimensions soient au moins égales à celles qui sont spécifiées pour les conducteurs de descente dans le tableau 8 ;

NOTES

- 1 Les équipements métalliques peuvent être revêtus de matériau isolant. Dans ce cas, la continuité électrique est contrôlée.
- 2 L'utilisation de canalisations comme conducteurs de descente est limitée à certains cas (à l'étude).

- b) l'ossature métallique de la structure ;
- c) les armatures en acier interconnectées de la structure en béton, à l'exception de béton précontraint ;
- d) les éléments de façade, profilés et supports des façades métalliques, à condition que :
 - leurs dimensions soient conformes aux prescriptions relatives aux conducteurs de descente et que leur épaisseur ne soit pas inférieure à 0,5 mm ;
 - leur continuité électrique dans le sens vertical soit conforme aux prescriptions du paragraphe 2.4.2.

NOTE - Les composants naturels pouvant être modifiés ou supprimés sans que leur appartenance au système de protection contre la foudre soit prise en compte, il est préférable de prévoir des conducteurs spécifiques.

Il n'est pas nécessaire d'installer des ceinturages horizontaux si l'armature métallique des structures en acier ou les armatures métalliques du béton armé sont utilisées comme conducteurs de descente.

2.2.6 Joint de contrôle, borne de coupure (borne de mesure)

Chaque conducteur de descente, à l'exception de conducteur de descente "naturel", est muni d'un joint de contrôle permettant de mesurer la prise de terre ; il est en même matière que, ou compatible avec les conducteurs de descente. Il porte la mention *paratonnerre* et le repère *prise de terre*.

Les joints de contrôle sont intercalés sur les conducteurs de descente à 2 m au-dessus du sol.

Pour les installations comportant des parois métalliques non munies de conducteurs de descente, les joints de contrôle sont intercalés entre chaque prise de terre et l'élément métallique du bâtiment auquel il est relié ; ils sont placés à l'intérieur d'un regard de visite sur lequel est repéré le symbole ⊕.

Le joint de contrôle devra être démontable à l'aide d'un outil, pour les besoins de mesures, mais doit rester fermé en utilisation normale.

2.3 Fixations et raccordements

2.3.1 Fixations

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

Les fixations des conducteurs de toiture et de descente se font sur la base de trois fixations au mètre (tous les 30 cm environ). Les fixations sont appropriées aux supports et exécutées de façon à ne pas nuire à l'étanchéité de la toiture. Elles doivent permettre une éventuelle dilatation des conducteurs.

2.3.2 Raccordements

Le raccordement des différents conducteurs entre eux s'opère par serrage à l'aide de pièces de raccordement de même nature, par rivetage plein, par soudure ou par brasure. Le percement des rubans est à éviter dans la mesure du possible.

Il est recommandé de protéger les conducteurs de descente contre les chocs mécaniques éventuels à l'aide de fourreaux et sur une hauteur de 2 m à partir du sol.

2.4 Prises de terre

2.4.1 Généralités

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

Toutes les prises de terre doivent être interconnectées conformément à l'article 3.1. Cette interconnexion assure une protection complète de l'installation, c'est-à-dire la protection contre la foudre, des installations électriques à basse tension et des installations de télécommunication.

NOTES

- 1 Les conditions de séparation et de liaison d'autres prises de terre sont habituellement définies par les services nationaux compétents.
- 2 De sérieux problèmes de corrosion peuvent apparaître si des prises de terre faisant usage de matériaux différents sont connectées entre elles.

2.4.2 Conception des prises de terre

Deux dispositions de prises de terre sont utilisées.

2.4.2.1 Disposition A

Cette disposition concerne les installations extérieures de protection contre la foudre dont le nombre de conducteurs de descente est inférieur ou égal à deux.

Dans ce cas, les prises de terre sont constituées au minimum, pour chaque conducteur de descente :

- soit par des conducteurs de même nature et de même section que les conducteurs de descente sauf pour l'aluminium, disposés en patte d'oie de grandes dimensions et enfouis à au moins 50 cm de profondeur.

Exemple : trois conducteurs de 7 à 8 m de longueur, enfouis horizontalement à au moins 50 cm de profondeur,

- soit par un ensemble de plusieurs piquets verticaux d'une longueur totale minimale de 6 m :

- disposés en ligne ou en triangle et espacés entre eux d'une distance au moins égale à leur longueur enterrée ;
- reliés entre eux par un conducteur, identique ou compatible dans ses caractéristiques à celui utilisé en descente, enterré en tranchée à au moins 50 cm de profondeur.

NOTE : La forme recommandée est le triangle

Dans ce cas, la prise de terre doit présenter une résistance, mesurée par des moyens conventionnels, inférieure ou au plus égale à 10 Ω. Cette valeur doit être mesurée sur la prise de terre isolée de tout autre élément conducteur.

Lorsque l'application de l'ensemble des dispositions énoncées ci-dessus ne permet pas d'atteindre une résistance inférieure à 10 Ω, on considère que la prise de terre assure un écoulement acceptable du courant de foudre lorsqu'elle est constituée par un minimum de 100 m d'électrode enfouie, sachant que la longueur de chaque élément vertical ou horizontal ne dépasse pas 20 m.

2.4.2.2 Disposition B

Cette disposition concerne les installations extérieures de protection contre la foudre dont le nombre de conducteurs de descente est supérieur à deux.

Dans ce cas, les prises de terre sont constituées au minimum, pour chaque conducteur de descente :

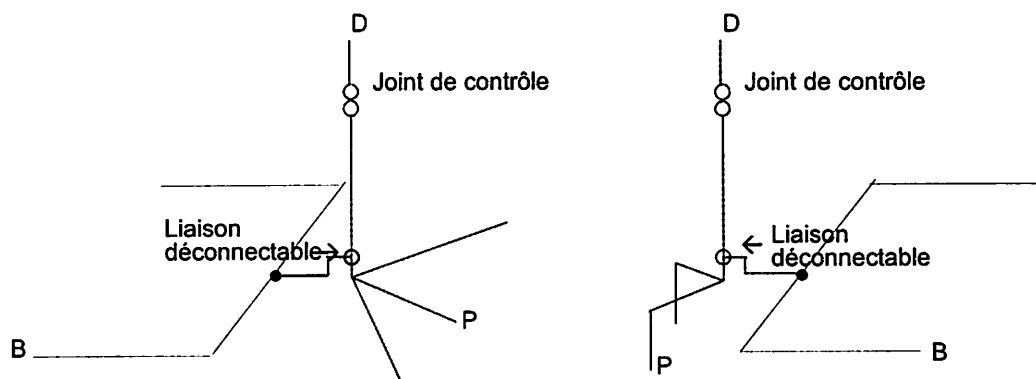
- soit par des conducteurs de même nature et de même section que les conducteurs de descente sauf pour l'aluminium, disposés en patte d'oie de faibles dimensions, enfouis à au moins 50 cm de profondeur.

Exemple : Trois conducteurs de 2 à 3 m de longueur, enfouis horizontalement à au moins 50 cm de profondeur.

- soit par un ensemble de deux piquets verticaux d'une longueur totale minimale de 2 m :
 - espacés entre eux d'une distance d'au moins 2 m ;
 - reliés entre eux par un conducteur, identique ou compatible dans ses caractéristiques à celui utilisé en descente, enterré en tranchée à au moins 50 cm de profondeur.

Cet ensemble interconnecté doit présenter une résistance mesurée par des moyens conventionnels inférieure ou au plus égale à 10 Ω. Cette valeur doit être mesurée sur la prise de terre isolée de tout autre élément conducteur.

Lorsque le bâtiment comporte une prise de terre à fond de fouille, il n'est pas nécessaire de créer une nouvelle boucle et les prises de terre des installations de paratonnerres lui sont reliées par un conducteur de même nature et de même section que les conducteurs de descente (voir figure 4)



- D : Conducteurs de descente de paratonnerre
- B : Boucle à fond de fouille du bâtiment
- P : Prise de terre paratonnerre

Figure 4 - Schémas types de prises de terre

2.4.2.3 Structures métalliques de grandes dimensions

Les structures métalliques de grandes dimensions reposant complètement sur le sol doivent être mises à la terre de façon à éviter des montées en potentiel génératrices d'amorçages vers d'autres structures ou vers les sols eux-mêmes. Ces mises à la terre sont réalisées de la manière suivante :

- pour une structure ou un réservoir connecté, sans joint isolant, le réseau des canalisations est lui-même mis à la terre ;
- pour un réservoir cylindrique posé directement sur le sol ou sur de la grave, si son diamètre est au moins égal à 6 m, ou posé sur un revêtement bitumé si son diamètre est au moins égal à 15 m, la mise à la terre de fait est considérée comme suffisante;
- dans les autres cas, le réservoir est connecté en au moins deux points de la circonférence et au moins tous les 30 m, à des prises de terre décrites en 2.4. Ceci est également applicable aux réservoirs isolés du sol par une membrane.

2.4.3 Interconnexion des prises de terre

Lorsque le bâtiment ou le volume protégé comporte une prise de terre à fond de fouille pour les masses des installations électriques conformément à l'article 542.2 de la norme NF C 15-100, les prises de terre des installations de paratonnerres lui sont reliées par un conducteur normalisé (voir tableau 8 et figure 3).

Pour les installations nouvelles, cette disposition doit être prise en compte dès l'étude, et l'interconnexion réalisée sur le circuit de terre en fond de fouille directement au droit de chaque descente par un dispositif permettant la déconnexion, placé dans un regard de visite portant le symbole ⊕.

Pour les installations et bâtiments existants, les interconnexions doivent être réalisées de préférence sur les parties enterrées et une déconnexion doit être possible pour des contrôles ultérieurs.

Dans le cas d'une interconnexion à l'intérieur d'un bâtiment, le cheminement du conducteur d'interconnexion doit être réalisé de façon à éviter une éventuelle induction sur des câbles ou matériels situés à proximité.

2.4.4 Mise en oeuvre des prises de terre

Une prise de terre extérieure en boucle est enterrée à au moins 0,5 m de profondeur et à au moins 1 m des murs.

La profondeur d'enfouissement et le type des composants des prises de terre doivent minimiser les effets de la corrosion, de l'assèchement et du gel du sol pour stabiliser la valeur de la résistance de terre équivalente. Il est conseillé de ne pas tenir pour efficace le premier mètre d'un piquet de terre en cas de gel.

Des prises de terre profondes peuvent être efficaces dans des cas particuliers, si la résistivité du sol décroît avec la profondeur, et si des sous-couches de faible résistivité existent à des profondeurs supérieures à la normale.

2.4.5 Conditions de proximité dans le sol

Les éléments constitutifs des prises de terre des paratonnerres doivent être situés à une distance minimale des réseaux enterrés (électricité, eau, gaz, communication, etc.). Ces distances minimales sont indiquées dans le tableau 7 ci-dessous :

Tableau 7 - Conditions de proximité dans le sol

Services enterrés	Distances minimales (m)	
	Résistivité du sol $\leq 500 \Omega.m$	Résistivité du sol $> 500 \Omega.m$
Canalisation électrique HTA	0,5	0,5
Canalisation électrique BT	2	5
Prise de terre du réseau électrique	10	20
Conduites métalliques de gaz	2	5

Ces distances ne sont applicables que dans le cas de canalisations qui ne sont pas électriquement connectées à la liaison équipotentielle principale du bâtiment.

NOTE - Dans le cas de canalisations non métalliques, il n'y a pas lieu de respecter une distance minimale.

2.4.6 Prises de terre naturelles

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

NOTES

1 - S'il s'agit de béton précontraint, il convient de ne pas utiliser l'armature métallique comme prise de terre.

2 - Lorsque la structure à protéger contre la foudre est sous protection cathodique, une étude particulière de la mise à la terre du système de protection contre la foudre devra être réalisée, notamment le cuivre ne devra pas être utilisé.

2.5 Matériaux et dimensions

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

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

Les éléments de l'installation de protection contre la foudre doivent être constitués des matériaux figurant dans le tableau 8. D'autres métaux peuvent être utilisés, si leur comportement mécanique, électrique et chimique (corrosion) est équivalent.

**Tableau 8 - Matériaux et dimensions minimales des composants
d'une installation de protection contre la foudre**

Matière	Observations	Dispositifs de capture	Conducteurs de toiture et de descente (4) (5)	Composants de Prises de terre
Cuivre électrolytique nu ou étamé.	Recommandé pour sa bonne conductibilité électrique et sa tenue à la corrosion (2).	<ul style="list-style-type: none"> • Pointes : L = 0,30 m à 0,50 m. ø 18 mm mini. • Tiges : L = 2 m.mini. • Fil tendu - câble de section minimale de 50 mm² 	Ruban 30 x 2 mm. Rond ø 8 mm (1). Tresse 30 x 3,5 mm.	<ul style="list-style-type: none"> • Ruban 30 x 2 mm • Rond ø 8 mm (1). • Grilles : fil de section min. 10 mm². • Piquets tubulaires : ø 25 mm ext. • Piquets acier cuivré ø 15 mm min.
Acier galvanisé à chaud (50µ minimum). (3)	Tenue dans le temps moins bonne que le cuivre.	Supports de tiges.	Rond ø 8 mm (1). Ruban 30 x 3,5 mm.	<ul style="list-style-type: none"> • Rond ø 10 mm (1). • Ruban 30 x 3,5 mm • Piquets tubulaires : ø 27 mm ext. • Piquets pleins : ø 19 mm. mini.
Acier inoxydable 18/10, 304.	Recommandé dans les atmosphères corrosives ou sols agressifs.	<ul style="list-style-type: none"> • Pointes : L = 0,3 m à 0,50 m. ø 18 mm. mini. • Tiges L=2 m mini. • Supports de tige • Fil tendu - câble de section minimale de 50 mm² 	Rond ø 8 mm (1). Ruban 30 x 2 mm.	<ul style="list-style-type: none"> • Rond ø 10 mm (1). • Ruban 30 x 2 mm • Piquets pleins : ø 15 mm. mini.
Aluminium A 5/L.	Doit être utilisé sur surfaces en aluminium (bardages, murs, rideaux).		Ruban 30 x 3 mm. Rond ø 10 mm (1).	

Remarques :

- (1) Etant donné le caractère impulsionnel du courant de foudre, le conducteur plat, offrant à section identique une plus grande surface extérieure, est préféré au conducteur rond.
- (2) Compte tenu de ses propriétés physiques, mécaniques et électriques (conductibilité, malléabilité, tenus à la corrosion, etc.) le cuivre étamé est recommandé.
- (3) L'acier galvanisé peut éventuellement être utilisé pour des installations de courte durée de vie ou provisoires telles que les expositions, etc.
- (4) L'utilisation de câbles coaxiaux isolés comme conducteurs de descente n'est pas admise. L'emploi de gaines ou de revêtements isolants autour des conducteurs de descente n'est pas admis.
- (5) Les tolérances dimensionnelles (épaisseur, largeur, diamètre) sont de $\pm 10\%$ en respectant la section minimale de 50 mm².

3 Equipotentialité des masses et des éléments conducteurs - Installation intérieure de protection contre la foudre (iipf)

3.1 Généralités

Lors de l'écoulement du courant de foudre dans un conducteur, des différences de potentiel apparaissent entre celui-ci, les masses et autres éléments conducteurs qui se trouvent à proximité. Des étincelles dangereuses peuvent alors se former entre les deux extrémités de la boucle ouverte ainsi créée.

En fonction de la distance qui sépare les deux extrémités de la boucle ouverte (le(les) conducteur(s) de descente d'une part et la masse métallique mise à la terre d'autre part), on réalise ou non l'équipotentialité. La distance minimale pour laquelle il n'y a pas de risque d'étincelles dangereuses est appelée distance de sécurité s , et est fonction du niveau de protection choisi, du nombre de descentes, du matériau qui se trouve entre les deux extrémités de la boucle, et de la distance de la masse métallique considérée par rapport au point de connexion à la terre.

Il est souvent difficile d'assurer l'isolement lors de l'installation du système de protection contre la foudre (manque d'informations nécessaires à la prise de décision), ou de l'assurer dans le temps (modifications sur la structure, travaux...). On préfère donc souvent réaliser l'équipotentialité.

Cependant, si des textes réglementaires interdisent, dans certains cas, l'équipotentialité (installation de protection cathodique), on fait alors cheminer le(les) conducteur(s) de descente au delà de la distance de sécurité s (voir 3.2.1 c)).

3.1.1 Liaison équipotentielle

Elle est réalisée, dans la mesure du possible au point de plus grande proximité, par conducteur d'équipotentialité, par parafoudre ou par éclateur, entre le conducteur de descente écouant le courant de foudre et l'élément à mettre au même potentiel situé sur la structure, dans ses parois ou à l'intérieur de celle-ci.

3.1.2 Distance de sécurité

La distance de sécurité est la distance minimale pour laquelle il n'y a pas formation d'étincelle dangereuse entre un conducteur de descente écouant le courant de foudre et une masse conductrice voisine liée à la terre.

Pour qu'il y ait isolement au sens des étincelles dangereuses, il faut que la distance d , séparant le système de protection contre la foudre de l'élément conducteur considéré, soit supérieure à s .

$$d \geq s$$

$$\text{Distance de sécurité : } s_{(m)} = n \frac{k_i}{k_m} l \quad (\text{formule 3})$$

avec :

- n : le nombre de descentes interconnectées en partie haute de l'IEPF avant le point de contact considéré :
 - $n = 1$ quand il y a une descente
 - $n = 0,6$ quand il y a deux descentes
 - $n = 0,4$ quand il y a trois descentes et plus.
- k_i : dépend du niveau de protection choisi :
 - $k_i = 0,1$ pour le niveau I
 - $k_i = 0,075$ pour le niveau II
 - $k_i = 0,05$ pour le niveau III et pour le niveau IV.
- k_m : dépend du matériau entre les deux extrémités de la boucle :
 - $k_m = 1$ pour l'air
 - $k_m = 0,5$ pour un matériau plein en dehors du métal.
- l : distance verticale entre le point où la proximité est prise en compte et la prise de terre de la masse métallique ou la liaison équipotentielle la plus proche.

NOTES

1 Lorsque la masse conductrice voisine n'est pas électriquement reliée à la terre, il n'y a pas lieu de réaliser de liaison équipotentielle.

2 Dans le cas où le système de protection contre la foudre est connecté à des structures en béton armé à armature d'acier interconnectée et de structures à charpente métallique ou avec une protection équivalente, les prescriptions de proximité sont habituellement respectées.

3.2 Equipotentialité des éléments conducteurs extérieurs

Dans la plupart des cas, une liaison par conducteur d'équipotentialité est possible. Lorsque cela est impossible ou non autorisé par les services compétents, une liaison par parafoudre ou éclateur doit être faite.

3.2.1 Liaison équipotentielle par conducteur d'équipotentialité

Une liaison équipotentielle doit être réalisée aux endroits suivants :

a) Au niveau du sol ou en sous-sol.

Les différentes prises de terre de la structure doivent être reliées entre elles selon les dispositions des paragraphes 4.4 et 4.5.

b) Là où les exigences de proximité ne sont pas respectées : lorsque $d < s$.

Dans ce cas les conducteurs d'équipotentialité admis sont du même type que ceux utilisés pour réaliser les conducteurs de descente (tableau 8). Leur longueur est la plus courte possible.

Dans le cas d'installation de protection foudre séparée de la structure à protéger, la liaison équipotentielle est réalisée uniquement au niveau du sol.

c) Dans le cas de colonnes montantes de gaz situées en aval du manchon isolant, $s = 3$ m.

NOTE - Le dimensionnement d'une canalisation de gaz satisfait aux conditions de 2.2.5 d).

3.2.2 Equipotentialité par parafoudre

Une antenne ou un potelet supportant des lignes électriques, est relié, au plus près à la descente, par un parafoudre de type éclateur de mât d'antenne.

Dans le cas de canalisations (eau, gaz,...) comportant des parties isolantes dans le volume considéré, celles-ci doivent être reliées par parafoudre de type éclateur.

3.3 Equipotentialité des éléments conducteurs noyés dans les parois

Les règles des paragraphes 3.2.1a) et b) s'appliquent dans la mesure où des bornes de connexion ont été prévues à cet effet par les lots concernés. Une attention particulière sera portée aux problèmes d'étanchéité.

NOTE - Dans le cas de structures existantes, les services compétents devront être contactés.

3.4 Equipotentialité des masses et des éléments conducteurs intérieurs Installation intérieure de protection contre la foudre

Les conducteurs d'équipotentialité relient les masses et les éléments conducteurs intérieurs à une barre d'équipotentialité fabriquée et disposée de façon à permettre une déconnexion facile pour la vérification. Ils ont une section minimale de 16 mm^2 lorsqu'ils sont en cuivre ou en aluminium, et de 50 mm^2 lorsqu'ils sont en acier. La barre d'équipotentialité doit être raccordée au plus près au circuit de terre de la structure. Dans le cas de grandes structures, plusieurs barres d'équipotentialité peuvent être installées pourvu qu'elles soient interconnectées. Chaque barre d'équipotentialité est en cuivre ou en matériau identique au conducteur d'équipotentialité et a une section minimale de 75 mm^2 .

Dans le cas d'installations électriques ou de télécommunication, si les conducteurs sont blindés, ou disposés à l'intérieur d'un conduit métallique, il suffit habituellement de relier uniquement les blindages ou les conduits métalliques à la terre.

Dans le cas contraire, les conducteurs actifs sont reliés au système de protection contre la foudre par l'intermédiaire de parafoudres.

4 Vérification, maintenance

4.1 Vérification initiale

Dès qu'une installation de protection contre la foudre est réalisée, elle doit faire l'objet de vérifications destinées à s'assurer qu'elle a été correctement réalisée en conformité avec les présentes règles.

Cette vérification porte sur les points suivants :

- nature, section et dimensions du dispositif de capture;
- nature et section des matériaux utilisés pour les conducteurs de descente ;
- cheminement, emplacement et continuité électrique des conducteurs de descente ;
- fixation mécanique des différents éléments de l'installation ;
- compatibilité vis-à-vis de la corrosion des matériaux utilisés;
- respect des distances de sécurité et/ou présence des liaisons équipotentielles ;
- résistance des prises de terre ;
- interconnexion des prises de terre.

Ces vérifications sont effectuées par un examen visuel dans les conditions indiquées dans la partie 6 de la norme NF C 15-100.

Toutefois, dans le cas où tout ou partie d'un conducteur n'est pas visible, il est conseillé de réaliser une mesure de sa continuité électrique. Cette vérification doit être en conformité avec la partie 6 de la norme NF C 15-100.

4.2 Vérification périodique

4.2.1 Périodicité

La périodicité est déterminée par le niveau de protection. Les périodicités suivantes sont recommandées :

Niveau de protection	Périodicité normale	Périodicité renforcée
I	2 ans	1 an
II	3 ans	2 ans
III	3 ans	2 ans
IV	4 ans	3 ans

NOTE - Dans le cas d'atmosphère corrosive, il est conseillé d'utiliser la périodicité renforcée.

De plus, un système de protection contre la foudre doit être vérifié lors de toute modification ou réparation de la structure protégée ou après tout impact de coup de foudre enregistré sur la structure.

NOTE - Un tel enregistrement peut se faire par un compteur de coups de foudre installé sur une des descentes.

4.2.2 Procédure de vérification

Une inspection visuelle doit être réalisée pour s'assurer que :

- aucune extension ou modification de la structure protégée n'impose la mise en place de dispositions complémentaires de protection ;
- la continuité électrique des conducteurs visibles est bonne ;
- la fixation des différents composants et les protections mécaniques sont en bon état ;
- aucune partie n'est affaiblie par la corrosion ;
- les distances de sécurité sont respectées et les liaisons équipotentielles sont suffisantes et en bon état.

Des mesures doivent être réalisées pour vérifier :

- la continuité électrique des conducteurs non visibles ;
- la résistance des prises de terre (toute évolution doit être analysée).

4.2.3 Rapport de vérification

Chaque vérification périodique doit faire l'objet d'un rapport détaillé reprenant l'ensemble des constatations et précisant les mesures correctives à prendre.

4.3 Maintenance

La maintenance d'un système de protection contre la foudre est indispensable. En effet, certains composants peuvent perdre de leur efficacité au cours du temps en raison de la corrosion, des intempéries, des chocs mécaniques et des impacts de foudre. Les caractéristiques mécaniques et électriques d'un système de protection contre la foudre doivent être maintenues pendant toute sa durée de vie afin de satisfaire aux prescriptions de la norme.

Lorsqu'une vérification périodique fait apparaître des défauts dans le système de protection contre la foudre, il convient d'y remédier dans les meilleurs délais afin de maintenir l'efficacité optimale du système de protection contre la foudre.

ANNEXE A (Normative)

VOLUME PROTEGE PAR UN DISPOSITIF DE CAPTURE

La position du dispositif de capture est appropriée si la structure à protéger est complètement incluse dans le volume protégé par ce dispositif de capture.

A1 Application de la méthode de la sphère fictive

Lors de l'utilisation de cette méthode, la position du dispositif de capture est appropriée si aucun point du volume à protéger ne vient en contact avec la sphère de rayon R, fonction du niveau de protection (voir tableau 3), roulant sur le sol, autour et sur la structure dans toutes les directions possibles.

C'est pourquoi la sphère ne pourra toucher que le sol et/ou le dispositif de capture (voir figure A1).

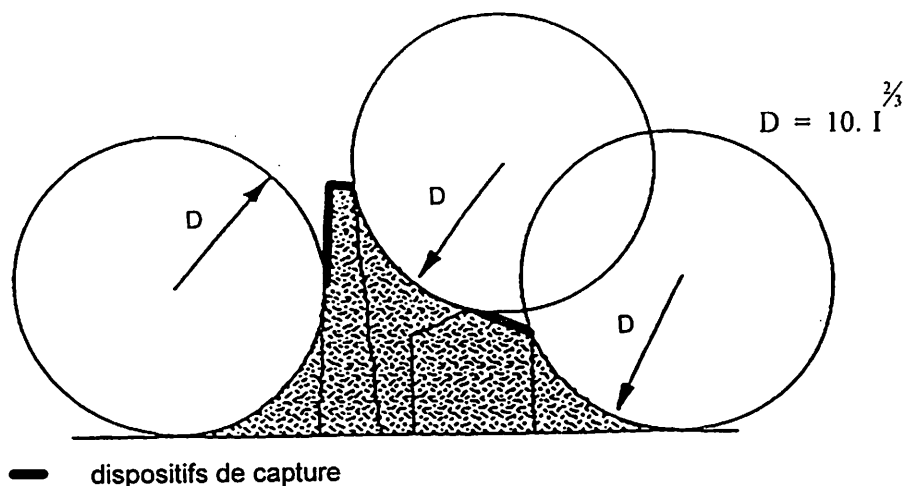


Figure A1 - Conception d'un dispositif de capture selon la méthode de la sphère fictive. Les conducteurs de capture sont disposés en tout point ou segment en contact avec la sphère fictive. Le rayon de la sphère fictive devra correspondre au niveau de protection choisi.

A2 Volume protégé par une tige de capture verticale

Le volume protégé par une tige de capture verticale est considéré comme ayant la forme d'un cône droit, d'axe la tige de capture et de demi-angle conforme aux valeurs du tableau 3 (fonction du niveau de protection et de hauteur la hauteur du dispositif de capture telle qu'indiquée au tableau 1).

Un exemple de volume protégé est donné en figure A2.

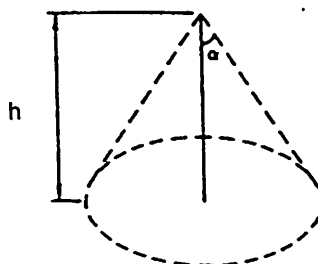


Figure A2 - Volume protégé par une tige de capture verticale

A3 Volume protégé par un fil tendu

Le volume protégé par un fil tendu est défini par la composition des volumes protégés par des tiges verticales virtuelles dont les pointes sont sur le fil.

Un exemple de volume protégé est donné en figure A3.

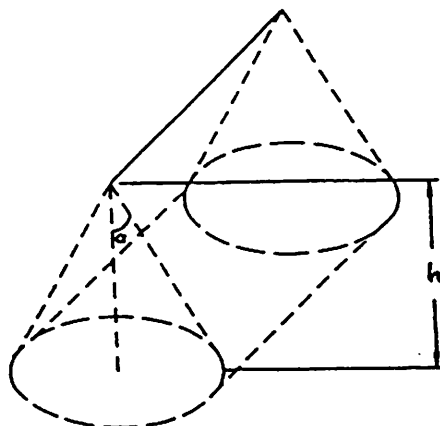


Figure A3 - Volume protégé par un fil tendu

A4 Volume protégé par des conducteurs maillés

Le volume protégé par des conducteurs maillés est défini par :

- le volume inclus dans les mailles;
- le volume environnant généré par le déplacement de la sphère fictive de la tige fictive le long du conducteur périphérique.

Un exemple de volume protégé par conducteurs maillés est donné en figure A4.

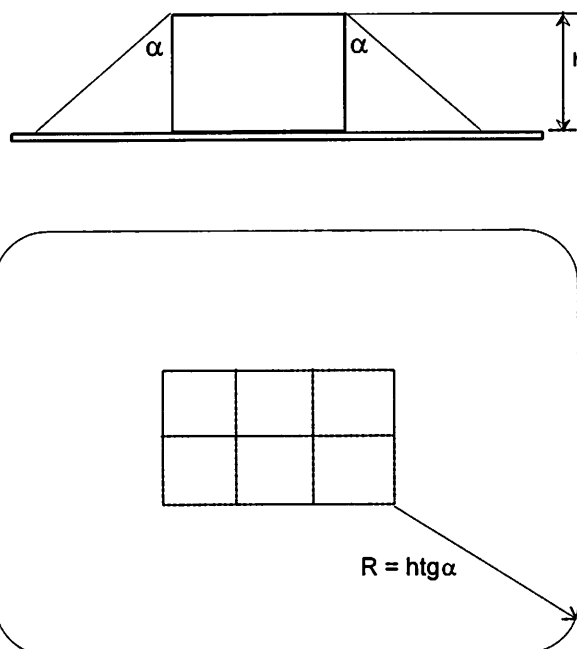


Figure A4 - Volume protégé par conducteurs maillés

ANNEXE B (normative)

GUIDE D'EVALUATION DU RISQUE DE FOUROIEMENT
ET CHOIX DU NIVEAU DE PROTECTION POUR UNE IEPF

B 1 GENERALITES

Le guide d'évaluation du risque foudre est destiné à aider le responsable de l'étude dans l'analyse des différents critères qui permettront d'évaluer le risque de dommages dus à la foudre, de déterminer le besoin de protection et le niveau de protection requis. On ne traite ici que des dommages causés par le coup de foudre direct sur la structure à protéger et l'écoulement du courant de foudre dans le système de protection contre la foudre.

Dans de nombreux cas, la nécessité de protection est évidente. Nous citerons, par exemple :

- lors de regroupement important de personnes ;
- dans le cas de nécessité de continuité de service ;
- dans le cas d'une zone à très forte densité de foudroiement ;
- dans le cas de structures de grande hauteur ou isolées ;
- dans le cas de bâtiments contenant des matières explosives ou inflammables, ou un patrimoine culturel irremplaçable.

Certains exemples d'effets consécutifs à un coup de foudre pour différents types de structures communes sont répertoriés dans le tableau B1 pour information.

Tableau B 1

Classification des structures	Type de structure	Effets de la foudre
Structures habituelles (voir note)	Maison particulière	Perforation des installations électriques, incendie et dommages matériels normalement limités aux objets proches du point d'impact ou du passage de la foudre.
	Ferme	Risque d'incendie et d'étincelles dangereuses. Risque dû à une coupure de courant : mort du bétail due à la perte du contrôle de l'aération et de la distribution des aliments. Risque de tension de pas.
	Théâtre, écoles, grandes surfaces, aires sportives	Risque de panique et de défaut des alarmes incendie entraînant un retard de la lutte contre l'incendie.
	Banques, sociétés d'assurances, sociétés commerciales	Comme ci-dessus plus problèmes qui résultent des pertes de communication, la panne des ordinateurs et la perte des données.
	Hopital, crèche, prison	Comme ci-dessus plus problèmes de patients en soins intensifs et de difficulté de secours aux personnes handicapées ou aux enfants en bas âge.
	Industrie	Effets supplémentaires dépendant du contenu des usines, allant du dommage mineur au dommage inacceptable et à la perte de production.
	Musées et sites archéologiques	Pertes irremplaçables de patrimoine culturel.

NOTE - Des équipements électroniques sensibles peuvent être installés dans tous les types de structures et peuvent être facilement endommagés par des surtensions dues à la foudre.

Une évaluation du risque est proposée dans ce guide, elle prend en compte le risque de foudroiement et les facteurs suivants :

1. Environnement de la structure
2. Type de construction
3. Contenu de la structure
4. Occupation de la structure
5. Conséquences d'un foudroiement.

La situation du bâtiment dans son environnement, et sa hauteur seront prises en compte dans le calcul du risque d'exposition.

Toutefois, dans certains cas, certains critères spécifiques à une structure ne peuvent pas être évalués et peuvent prévaloir à toute autre considération. On peut alors appliquer des mesures de protection plus sévères que celles qui résultent de l'application du guide.

La sélection du niveau de protection approprié pour l'IEPF à mettre en place est basée sur la fréquence prévue N_d des coups de foudre directs sur la structure ou la zone à protéger et sur la fréquence annuelle acceptée N_c des coups de foudre.

B 2 DETERMINATION DE N_d ET N_c

B 2.1 Densité de foudroiement au sol N_g

La densité de foudroiement au sol exprimée en nombre de coups de foudre au km^2 par an peut être déterminée par :

- la carte de densité de foudroiement en figure B4.
 - la consultation d'un réseau de localisation = N_g
 - l'utilisation du niveau kéraunique local N_k : $N_{g\max} = 0,04 N_k^{1,25}$
- } avec $N_g \max \cong 2 N_g$
)

La valeur $N_g \max$ prend en compte le foudroiement maximal et la précision de détection.

N_k	5	10	15	20	25	30	35	40	45
$N_{g\max}$	0,3	0,7	1,2	1,7	2,2	2,8	3,4	4,0	4,7

NOTE : La carte indique la densité d'arcs. La constante 2,2 est le rapport moyen entre nombre d'arcs et nombre d'impacts.

*Copie de la
17102 - la
carte a charge!*

B 2.2 Fréquence attendue N_d des coups de foudre directs sur une structure

La fréquence annuelle moyenne N_d de coups directs sur une structure est évaluée à partir de l'expression :

$$N_d = N_g \max \cdot A_e \cdot C_1 \cdot 10^{-6} / \text{an} \quad \text{où :} \quad \text{(formule 6)}$$

N_g : densité annuelle moyenne de foudroiement concernant la région où se situe la structure (nombre d'impacts / an / km^2),

A_e : est la surface de capture équivalente de la structure seule (m^2),

C_1 : est le coefficient environnemental.

La surface de capture équivalente est définie comme la surface au sol qui a la même probabilité annuelle de coups de foudre directs que la structure.

Pour des structures isolées selon le tableau B2, la surface de capture équivalente A_e est la surface comprise entre les lignes obtenues par l'intersection entre la surface au sol et la ligne de pente 1:3 qui passe par le sommet de la structure et faisant le tour de celle-ci (voir figure B3).

Pour une structure rectangulaire de longueur L , de largeur l et de hauteur H , la surface de capture est alors égale à : $A_e = Ll + 6H(L+l) + 9\pi H^2$ (formule 7)

La topographie du site et les objets situés à l'intérieur de la distance $3H$ de la structure influencent de manière significative sa surface de capture. Cette influence est prise en compte par le coefficient environnemental C_1 (tableau B2).

Tableau B 2 - Détermination du coefficient d'environnement **B 1**

Situation relative de la structure	B₁
Structure située dans un espace où il y a des structures ou des arbres de même hauteur ou plus élevés	0,25
Structure entourée de plus petites structures	0,5
Structure isolée : pas d'autres structures à moins d'une distance $3H$	1
Structure isolée au sommet d'une colline ou sur un promontoire	2

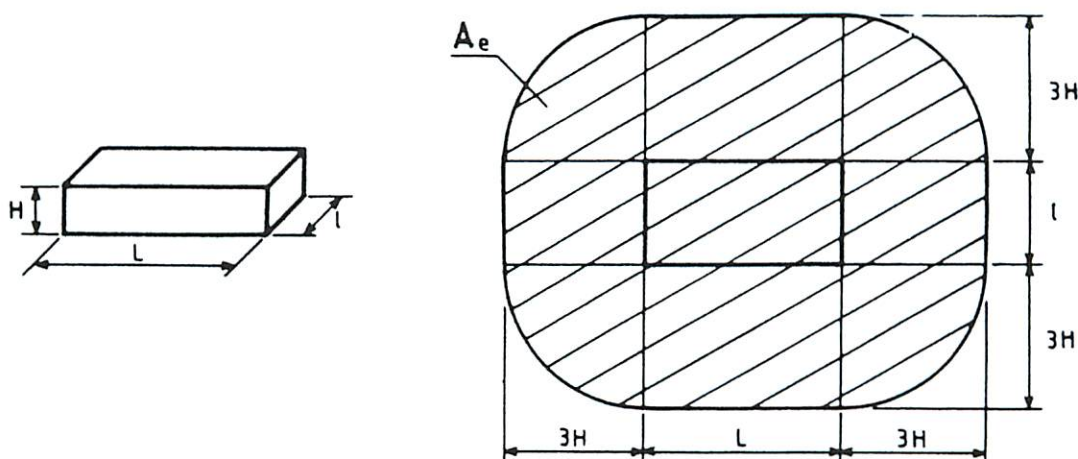
- Quand la surface de capture équivalente d'une structure couvre complètement celle d'une autre structure, on ne prend pas en compte cette dernière.
- Quand la surface de capture de plusieurs structures se recouvrent, la surface de capture commune correspondante est considérée comme une seule surface de capture.

NOTE - D'autres méthodes plus sophistiquées peuvent être utilisées pour une évaluation plus précise de la surface de capture équivalente.

Figures B 3 - Exemples de calcul

1°) Pour un bâtiment rectangulaire, la surface de capture est :

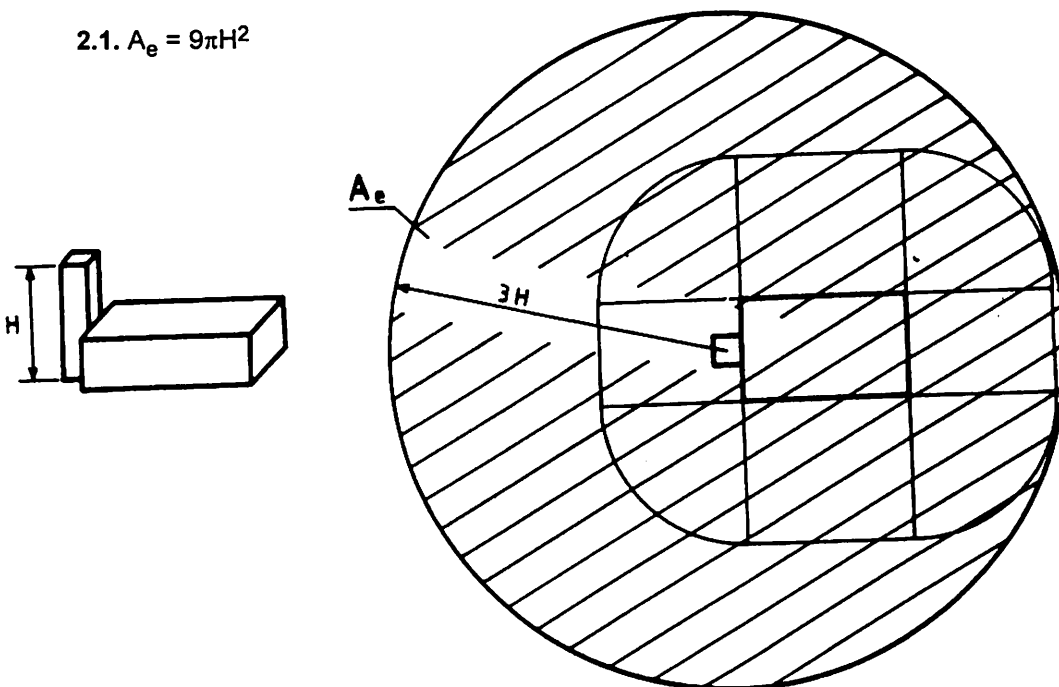
$$A_e = L \times l + 6H(L + l) + 9\pi H^2.$$



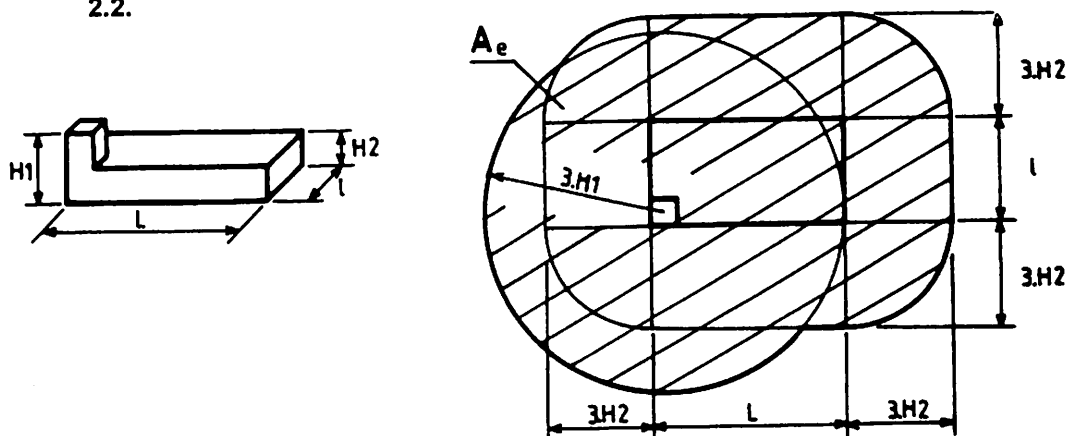
2°) Cas d'un bâtiment ayant une partie proéminente.

La surface équivalente de la partie proéminente englobe tout ou partie de celle de la partie plus basse :

$$2.1. A_e = 9\pi H^2$$



2.2.



B 2.3 Fréquence acceptée de coups de foudre (N_c) sur une structure

B 2.3.1 Généralités

Les valeurs de N_c sont estimées à travers l'analyse du risque de dommage en prenant en compte des facteurs appropriés tels que :

- le type de construction,
- le contenu de la structure,
- l'occupation de la structure,
- les conséquences du foudroiement.

B 2.3.2 Détermination de N_c

Selon ce qui a été dit plus haut, quatre facteurs déterminants, donnés par les coefficients C_2 , C_3 , C_4 et C_5 doivent être évalués à l'aide des tableaux B 5 à B 8.

Posons $C = C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5$, par suite N_c s'exprime par
$$N_c = \frac{5,5 \cdot 10^{-3}}{C}$$

Tableau B 5

C_2, coefficient structurel				
Structure	Toiture	Métal	Commune	Inflammable
Métal		0,5	1	2
Courante		1	1	2,5
Inflammable		2	2,5	3

Tableau B 6

C_3, contenu de la structure	
Sans valeur et ininflammable	0,5
Valeur courante ou normalement inflammable	1
Forte valeur ou particulièrement inflammable	2
Valeur exceptionnelle, irremplaçable ou très inflammable, explosible	3

Tableau B 7

C_4, occupation de la structure	
Inoccupée	0,5
Normalement occupée	1
Evacuation difficile ou risque de panique	3

Tableau B 8

C_5, conséquences d'un foudroiement	
Pas de nécessité de continuité de service, et aucune conséquence sur l'environnement	1
Nécessité de continuité de service et aucune conséquence sur l'environnement	5
Conséquences pour l'environnement	10

NOTE - Des règles spécifiques peuvent imposer d'autres valeurs de N_c dans certains cas.

B 3 METHODE DE SELECTION DU NIVEAU DE PROTECTION

La valeur de la fréquence acceptée de coups de foudre N_c sera comparée avec la valeur de la fréquence attendue de coups de foudre sur la structure N_d .

Cette comparaison permet de décider si un système de protection contre la foudre est nécessaire, et si oui, à quel niveau de protection :

- Si $N_d \leq N_c$, le système de protection contre la foudre n'est pas systématiquement nécessaire.
- Si $N_d > N_c$, un système de protection contre la foudre d'efficacité $E \geq 1 - N_c/N_d$ doit être installé et le niveau de protection correspondant sélectionné selon le tableau C 10.

La conception d'un système de protection contre la foudre devra respecter les spécifications données dans la norme pour les niveaux de protection sélectionnés.

Si un système de protection contre la foudre d'efficacité E' plus faible que E calculée est installé, des mesures complémentaires de protection seront mises en oeuvre. Des mesures additionnelles de protection sont par exemple :

- des mesures limitant la tension de pas ou de contact,
- des mesures limitant la propagation du feu,
- des mesures pour réduire les effets de surtensions induites par la foudre sur les équipements sensibles.

Une méthode pratique du choix du niveau de protection est donnée dans le diagramme logique de la figure B9.

Le tableau B10 donne les valeurs critiques de l'efficacité critique E_c correspondant aux limites entre les différents niveaux de protection et les niveaux de protection correspondant aux efficacités calculées E .

Tableau B 9 - Détermination du besoin en protection et du niveau de protection

Entrée des données Formules	Calculs	Résultats
Surface de capture équivalente : $A_g = LI + 6H(L+I) + 9\pi H^2$ (dans le cas d'un volume parallélépipédique)	$L =$ $I =$ $H =$ H^2	$A_g =$
Fréquence attendue des coups de foudre directs sur une structure : $N_d = N_g \max.A_g.C_1.10^{-6}$	$N_g =$ $A_g =$ $C_1 =$	$N_d =$
Fréquence acceptée des coups sur une structure : $N_c = \frac{5.5 \cdot 10^{-3}}{C}$ avec $C = C_2.C_3.C_4.C_5$	$C_2 =$ $C_3 =$ $C_4 =$ $C_5 =$ $C =$	$N_c =$
- SI $N_d \leq N_c$: PROTECTION OPTIONNELLE. - SI $N_d > N_c$: PROTECTION NECESSAIRE. - Déterminer le niveau de protection requis en calculant l'efficacité $E = 1 - N_c/N_d$. - Installer une IEPF de niveau de protection correspondant à E calculée à l'aide du tableau B10 ci-dessous.		

Tableau B 10

E Efficacité calculée	Niveau de protection correspondant	I (kA) Courant crête	D (m) Distance d'amorçage
$E > 0,98$	Niveau I + mesures complémentaires	-	-
$0,95 < E \leq 0,98$	Niveau I	2,8	20
$0,90 < E < 0,95$	Niveau II	5,2	30
$0,80 < E \leq 0,90$	Niveau III	9,5	45
$0 < E \leq 0,80$	Niveau IV	14,7	60

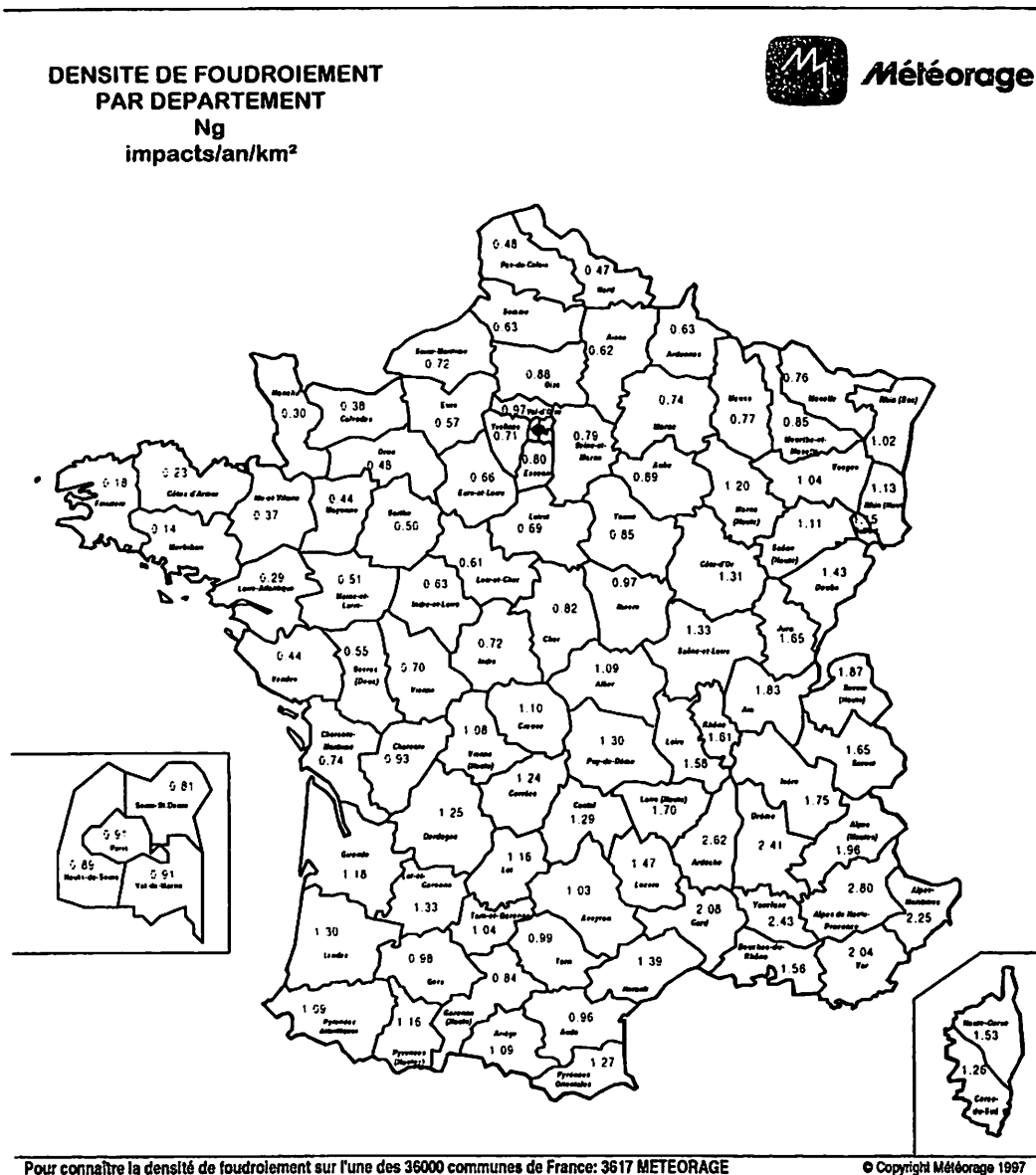


Figure B4 - générale de densité de foudroiement (Ng) en France

Cette carte se fonde sur des données statistiques issues de mesures enregistrées depuis 1987 par le réseau national de surveillance des orages.

ANNEXE C (Informative)

PARAMETRES DU COURANT DE Foudre

C1 Distribution statistique

Les paramètres de la foudre sont généralement obtenus à partir de mesures effectuées sur des objets élevés. Dans la présente norme, les paramètres sont considérés comme valables pour des structures de hauteur inférieure à 60 m.

La distribution statistique des paramètres de foudre enregistrés peut être considérée comme une distribution logarithmique normale.

Le rapport de polarité des coups de foudre est fonction du territoire. En cas d'absence de données locales, il est considéré que 10% des coups de foudre sont positifs et 90% négatifs.

Les valeurs indiquées dans cette norme sont fondées sur un rapport de polarité de 10% de coups positifs et de 90% négatifs.

C2 Paramètres du courant de foudre utilisés pour le dimensionnement du système de protection contre la foudre

Les effets mécaniques de la foudre sont liés et à son énergie spécifique (ES). Les effets thermiques sont liés à l'énergie spécifique (ES), la charge totale (Q_{total}) ou la charge impulsionnelle (Q_{choc}) et se développent lorsque des arcs se propagent dans l'installation.

Les dommages dus à un couplage résistif sont liés à la valeur crête du courant (I).

Les valeurs les plus élevées de ces paramètres sont obtenues pour des coups de foudre positifs.

Les étincelles dangereuses dues à un couplage inductif sont liées à la raideur du front de courant. Dans la présente norme, la raideur moyenne est comprise entre 30% et 90% du courant de crête. La valeur la plus élevée de ce paramètre apparaît dans des coups négatifs consécutifs. De tels impacts négatifs apparaissent dans presque tous les coups de foudre négatifs sur une structure.

En partant de l'hypothèse de 10% de coups de foudre positifs et de 90% négatifs, Les valeurs présumées des paramètres pour un niveau de protection I ont une probabilité de 99% de ne pas être dépassées.

Pour des raisons d'essais, les paramètres appropriés doivent être choisis dans le tableau 2.

Chacun des paramètres pris individuellement (Q_{total} , Q_{choc} , SE) peut entraîner un mécanisme de défaillance. Cela doit être pris en compte lors de l'élaboration de méthodes d'essai.