



DIRECTIVE IALA-AISM

G1012

PROTECTION DES PHARES ET AUTRES AIDES À LA NAVIGATION CONTRE LES DOMMAGES CAUSÉS PAR LA Foudre

Édition 3.1

Mai 2013

urn:mrn:iala:pub:g1012:ed3.1



10, rue des Gaudines – 78100 Saint-Germain-en-Laye, France
Tél. +33 (0)1 34 51 70 01 – contact@iala-aism.org

www.iala-aism.org

International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities
Association Internationale de Signalisation Maritime



HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

Les modifications apportées au présent document doivent être mentionnées dans le tableau ci-dessous avant toute mise à disposition d'un document révisé.

Date	Détails	Approbation
Décembre 2005	L'ensemble du document a été reformaté conformément à la hiérarchie de la documentation de l'IALA-AISM.	Conseil 37
Mai 2013	Des sections ont été ajoutées et le document a été mis à jour pour refléter les changements apportés à la norme CEI.	Conseil 55
Juillet 2022	Édition 3.1 Corrections éditoriales.	



1.	INTRODUCTION	7
2.	DOMAINE D'APPLICATION.....	7
3.	BREF HISTORIQUE DE L'ORIGINE DES PARATONNERRES	7
4.	ANALYSE DES BESOINS	9
5.	TYPES DE DOMMAGES CAUSÉS PAR LA Foudre	11
5.1.	IMPACT DIRECT.....	11
5.2.	IMPACT INDIRECT	11
6.	CONCEPTION	11
6.1.	LES BASES DE LA PROTECTION CONTRE LA Foudre.....	11
6.2.	CONCEPTION DE LA PROTECTION STRUCTURELLE CONTRE LA Foudre	11
6.2.1.	MÉTHODE DE L'ANGLE DE PROTECTION.....	12
6.2.2.	MÉTHODE DE LA SPHÈRE FICTIVE	12
6.2.3.	MÉTHODE DE LA SPHÈRE FICTIVE LORS DE L'UTILISATION DE PARATONNERRES EXCITÉS.....	13 ²
6.3.	CONCEPTION DE LA PROTECTION INTERNE CONTRE LA Foudre.....	15
6.4.	APPLICATION DE MÉTHODES DE PROTECTION CONTRE LA Foudre POUR L'ÉQUIPOTENTIALISATION D'UNE STRUCTURE	15
6.5.	RÉCAPITULATIF DE L'APPROCHE DE CONCEPTION.....	17
6.5.1.	PROTECTION OBLIGATOIRE	17
6.5.2.	PROTECTION VIVEMENT RECOMMANDÉE.....	17
6.5.3.	MESURES COMPLÉMENTAIRES RECOMMANDÉES.....	17
7.	INSTALLATION.....	18
7.1.	PROTECTION DES STRUCTURES.....	18
7.1.1.	GÉNÉRALITÉS	18
7.1.2.	STRUCTURES ET BÂTIMENTS INDÉPENDANTS	20
7.1.3.	TOURS EN TREILLIS D'ACIER.....	21
7.1.4.	AIDES FLOTTANTES	22
7.2.	LIAISON	22
7.2.1.	RÉSEAUX ENTRANTS ET SORTANTS.....	22
7.2.2.	ALIMENTATION ÉLECTRIQUE ²	23
7.2.3.	CIRCUITS TÉLÉPHONIQUES	23
7.2.4.	ALIMENTATION EN EAU.....	23
7.2.5.	ALIMENTATION EN GAZ.....	23
7.3.	STRUCTURES MÉTALLIQUES	23
7.3.1.	GÉNÉRALITÉS	23
7.3.2.	TUBES CONTREPOIDS.....	24
7.3.3.	MAINS COURANTES D'ESCALIER.....	24
7.4.	SYSTÈMES D'ACHEMINEMENT DES CÂBLES	24
7.4.1.	CONDUITS.....	24
7.4.2.	GOULOTTES	24
7.4.3.	CHEMINS DE CÂBLES.....	24
7.4.4.	CIRCUITS DE DÉTECTION D'INCENDIE	25
7.4.5.	CABINES ET ARMOIRES D'ÉQUIPEMENTS	25



7.4.6.	CÂBLES DES SYSTÈMES DE DÉTECTION, DE COMMANDE ET DE DONNÉES.....	25
7.4.7.	ANTENNES DE RADIOCOMMUNICATION ET CÂBLES D'ALIMENTATION	25
7.5.	ANTENNES DE RADIOBALISES.....	26
7.5.1.	TAPIS AU SOL	26
7.5.2.	CÂBLE D'ALIMENTATION D'ANTENNE	26
7.5.3.	STRUCTURES DE SUPPORT D'ANTENNE	26
7.6.	AUTRES ÉQUIPEMENTS	26
7.6.1.	DÉTECTEURS DE BRUME	26
7.6.2.	SIGNAUX DE BRUME	26
7.6.3.	FEUX DE SECOURS.....	26
7.6.4.	RÉSEAUX DE PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES.....	27
7.6.5.	GÉNÉRATEURS	27
7.6.6.	RÉSERVOIRS DE STOCKAGE DE CARBURANT.....	27
7.6.7.	CAPTEURS DE NIVEAU DE CARBURANT	27
7.6.8.	ANTENNES RADAR	27
7.6.9.	UNITÉS SIA	27
7.7.	PROTECTION CONTRE LES SURTENSIONS.....	27
7.7.1.	GÉNÉRALITÉS	27
7.7.2.	ALIMENTATION ÉLECTRIQUE	28
7.7.3.	ALIMENTATIONS SANS INTERRUPTION (ASI)	28
7.7.4.	RÉSEAUX DE PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES.....	28
7.7.5.	CIRCUITS DE TÉLÉPHONIE, DE DONNÉES, DE COMMANDE ET DE SURVEILLANCE.....	28
7.7.6.	CIRCUITS COAXIAUX ET BLINDÉS	29
7.8.	MISE À LA TERRE.....	29
7.8.1.	GÉNÉRALITÉS	29
7.8.2.	SUR SOL TERREUX.....	31
7.8.3.	SUR SOL ROCHEUX.....	31
7.8.4.	SUR FINE COUCHE DE SOL TERREUX	31
7.8.5.	ÉLECTRODES DE MISE À LA TERRE EN MER.....	32
8.	INSPECTION ET MAINTENANCE PÉRIODIQUES.....	32
8.1.	INSPECTION	32
8.2.	TESTS.....	32
8.2.1.	GÉNÉRALITÉS	32
8.2.2.	TEST DE LA RÉSISTANCE DES ÉLECTRODES DE TERRE	32
8.2.3.	TEST DES ÉLECTRODES DE TERRE DANS LA ROCHE	33
8.3.	MAINTENANCE DES PARASURTENSEURS	34
8.4.	ENREGISTREMENTS	34
8.5.	MAINTENANCE	34
9.	DÉFINITIONS	35
10.	ABRÉVIATIONS.....	35
11.	RÉFÉRENCES.....	36
ANNEXE A	EXEMPLE	38
ANNEXE B	ANALYSE DES RISQUES (EXEMPLE)	40



ANNEXE C	MÉTHODE WENNER POUR LA MESURE DE LA RÉSISTANCE DES ÉLECTRODES DE TERRE	41
ANNEXE D	FICHE DE CALCUL POUR LA DÉTERMINATION DE LA RÉSISTIVITÉ DU SOL (EXEMPLE)	42

Liste des tableaux

Tableau 1	Extrait de la norme CEI 62305-3	14
Tableau 2	Extrait de la norme CEI 62305-3 concernant les dimensions et les types de matériaux	19

Liste des figures

Figure 1	L'expérience de Benjamin Franklin	8
Figure 2	Plusieurs types de paratonnerres radioactifs	9
Figure 3	Paratonnerre piézoélectrique	9
Figure 4	Paratonnerre diélectrique	9
Figure 5	Paratonnerre à générateur d'impulsions	9
Figure 6	Niveaux céramiques à travers le monde	10
Figure 7	Méthode de l'angle de protection (cône inversé)	12
Figure 8	Méthode de la Sphère fictive	13
Figure 9	Méthode de la Sphère fictive élargie	13
Figure 10	Vérification de la protection par le modèle de la sphère fictive	14
Figure 11	Illustration des différentes dispositions de liaison et de mise à la terre	16
Figure 12	Disposition des boucles	18
Figure 13	Installation du ceinturage	20
Figure 14	Exemple de mise à la terre d'une murette	20
Figure 15	Système de protection contre la foudre	21
Figure 16	Exemple de liaisons	22
Figure 17	Disposition des câbles	23
Figure 18	Mise à la terre	24
Figure 19	Différents types d'électrodes de terre	30
Figure 20	Soudage aluminothermique	31
Figure 21	Méthode privilégiée de mesure de la résistance de l'électrode de terre	33
Figure 22	Schéma de raccordement pour la méthode Wenner	41

Liste des équations

Équation 1	Calcul du rayon de protection	13
Équation 2	Longueur de l'électrode de terre - Bandes horizontales de section rectangulaire	30



Équation 3	Longueur de l'électrode de terre - Bandes horizontales de section circulaire	30
Équation 4	Longueur de l'électrode de terre - Bandes verticales de section rectangulaire	30
Équation 5	Longueur de l'électrode de terre - Bandes verticales de section circulaire	30
Équation 6	Résistivité du sol	41



1. INTRODUCTION

La foudre est une décharge atmosphérique d'électricité accompagnée de tonnerre, qui se produit généralement pendant les orages.

La foudre produit les effets suivants :

- Déflagrations thermiques.
- Effets électrodynamiques
- Augmentation de la tension à la terre (risque d'électrocution).
- Surtensions de plusieurs milliers de volts et courants induits destructeurs (dommages aux équipements électriques et électroniques, entraînant une interruption de fonctionnement).

Un système de protection contre la foudre doit être conçu pour détourner la décharge de la foudre de l'équipement à protéger. Pour ce faire, il faut prévoir un chemin à très faible impédance vers la terre, de sorte que la décharge se produise et que l'équipement reste dans une zone protégée, comme lorsqu'on se protège de la pluie sous un parapluie.

La protection contre l'effet de la foudre repose essentiellement sur :

- le captage et la décharge du courant à la terre ;
- l'utilisation de parasurtenseurs ; et
- la protection passive de l'installation.

La protection contre la foudre peut être obtenue de manière raisonnablement efficace. Une protection efficace peut être coûteuse ; sa mise en œuvre tiendra donc compte, dans l'idéal, du coût de l'équipement à protéger et du besoin critique de l'équipement ou du service concerné.

2. DOMAINE D'APPLICATION

Les personnes et les équipements présents à l'intérieur des bâtiments peuvent être menacés par les courants de foudre et les tensions associées susceptibles d'y être conduits à la suite d'un coup de foudre sur l'édifice ou les réseaux connexes. Certains équipements (par exemple, les dispositifs électroniques, et notamment les ordinateurs) risquent particulièrement d'être endommagés par des surtensions dans l'alimentation électrique causées par la foudre, et ces dommages peuvent se produire même lorsque le coup de foudre est distant (par exemple, à partir d'une surtension conduite dans le bâtiment par le biais du réseau de distribution électrique).

Il convient de prendre des mesures pour protéger les personnes et les équipements à l'intérieur des bâtiments contre les effets de la foudre.

Le présent document décrit l'approche pratique de l'évaluation des risques, de la conception, de l'installation, de l'inspection et des tests réalisés sur les systèmes de protection contre la foudre pour les structures, les équipements et les systèmes des aides à la navigation maritime.

Ce document ne constitue pas un traité rigoureux sur la protection contre la foudre, et il convient que le lecteur se réfère à la norme nationale ou internationale qui s'applique à son cas pour une description plus complète des méthodes de protection.

3. BREF HISTORIQUE DE L'ORIGINE DES PARATONNERRES

Au fil des années, l'homme a développé une série de dispositifs de protection contre la foudre, généralement

appelés paratonnerres ou terminaisons aériennes.

Benjamin Franklin a inventé le paratonnerre en 1752, lorsqu'il a découvert que la foudre était un phénomène électrique (voir la Figure 1).



Figure 1 L'expérience de Benjamin Franklin

Les paratonnerres constituent un système de protection très simple composé d'une terminaison aérienne (la tige), qui sert à capter la foudre. Ces éléments sont reliés à un ou plusieurs conducteurs de descente et à une électrode de terre.

Le système a la capacité d'intercepter, de guider et de disperser dans le sol l'énergie de la foudre provenant des nuages orageux, empêchant ainsi l'apparition de tensions et de courants dangereux pour l'homme, les animaux et les équipements contenus dans le volume à protéger.

Sa fonction est basée sur un phénomène physique dit « effet de couronne » ou « effet corona », qui consiste en l'ionisation de l'air entourant la pointe de la tige. Lorsque le champ électrique à proximité atteint un niveau suffisant, un « chemin privilégié » se crée, par le biais duquel la foudre peut se décharger et être conduite jusqu'au sol, où elle se dissipe.

En 1914, dans le but de rendre l'ionisation plus efficace, le physicien hongrois Szillard a proposé d'utiliser une source de rayonnement au radium-226 sur les paratonnerres Franklin après avoir observé une augmentation du courant électrique dans un paratonnerre contenant du sel de radium soumis à un champ électrique.

En 1931, le physicien belge Gustav Capart a breveté la première tige à ionisation utilisant la radioactivité, mais c'est son fils Alphonse qui, en 1953, a apporté plusieurs améliorations à l'équipement de son père à des fins commerciales.

L'avantage de ce nouveau dispositif était l'ionisation accrue de l'atmosphère entourant la tige, causée par l'élément radioactif. Cela permettait d'accélérer l'ionisation de l'air au moment de la décharge électrique, afin d'augmenter la zone de protection.

Ce dispositif a été commercialisé vers la fin des années 50 et de nombreux ont été installés. Jusque dans les années 60, les paratonnerres disponibles dans le commerce contenaient du radium-226. À partir de cette époque, ils ont été remplacés par des dispositifs employant de l'américium-241, un élément moins coûteux et plus courant sur le marché (voir la Figure 2). Ces paratonnerres radioactifs ne sont plus commercialisés à ce jour.



Figure 2 Plusieurs types de paratonnerres radioactifs

Actuellement, on trouve sur le marché des paratonnerres dotés d'un dispositif d'ionisation qui n'est pas radioactif, appelés paratonnerres à dispositifs d'amorçage (voir la Figure 3, la Figure 4 et la Figure 5).

Il en existe trois types :

- Piézoélectrique – dont le fonctionnement est basé sur l'ionisation de l'air par les effets Venturi et piézoélectrique qui génèrent des tensions élevées au passage du vent.
- Diélectrique – dont la conception permet de générer une tension élevée entre les deux parties du dispositif, sur la base d'un effet diélectrique.
- À générateur d'impulsions – dotés d'un dispositif électronique qui envoie des impulsions à haute fréquence, certains nécessitant une source d'énergie auxiliaire.

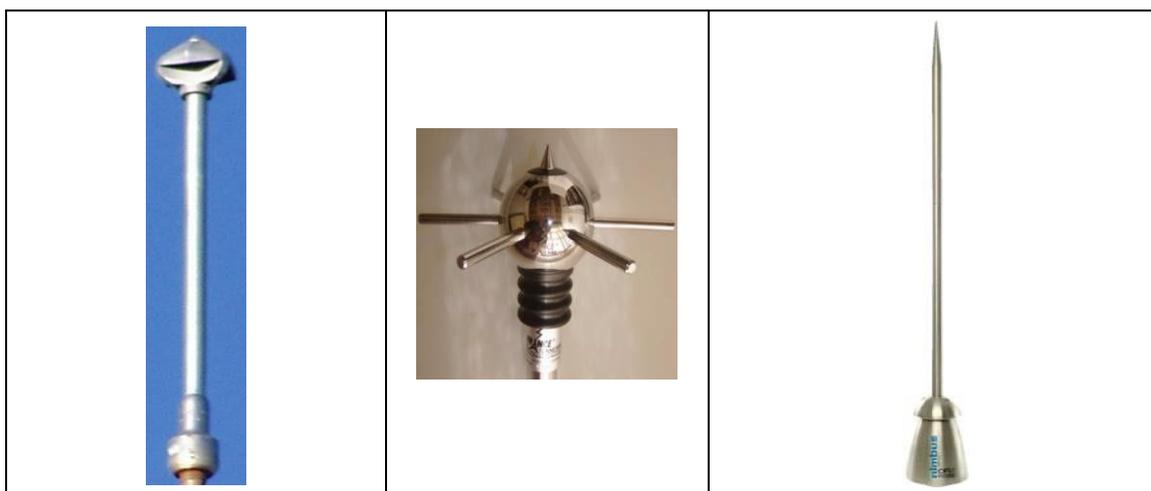


Figure 3 Paratonnerre piézoélectrique

Figure 4 Paratonnerre diélectrique

Figure 5 Paratonnerre à générateur d'impulsions

4. ANALYSE DES BESOINS

Il convient de souligner dès le départ qu'une protection totale contre les effets de la foudre n'est pas toujours possible. Il est regrettable que les composants électroniques (transistors, circuits intégrés, microprocesseurs, etc.) essentiels aux systèmes électroniques modernes complexes soient, par nature, beaucoup plus susceptibles d'être endommagés par des tensions excessives que les équipements de type plus ancien.

Plusieurs facteurs doivent être pris en compte pour évaluer la nécessité d'une protection contre la foudre :

- La menace de la foudre est-elle suffisante pour justifier une protection ?

- Le coût de remplacement de l'équipement est-il suffisant pour justifier le coût de la protection ?
- Le service est-il suffisamment critique pour justifier le coût de la protection ?
- L'environnement de l'équipement doit être pris en compte, car un plan de sol sec nécessitera une installation importante, tandis qu'un plan de sol humide fournira un chemin de mise à la terre moyennant une installation minimale.

Le niveau de protection à installer peut être calculé au moyen d'une analyse des risques conformément à la norme internationale *CEI 62305-2* [16] (voir l'exemple à l'Annexe B), dont les résultats conduiront à un niveau de protection contre la foudre (LPL) approprié pour atténuer le risque, et qui sera proportionnel à l'investissement réalisé. Cette norme prend en compte les paramètres suivants :

- Taille, composition et emplacement géographique de la structure
- Occupation et contenu de la structure
- Définition de la zone environnante
- Nature de l'environnement (niveau kéraunique ¹ voir la Figure 6)
- Impact consécutif (résultat)

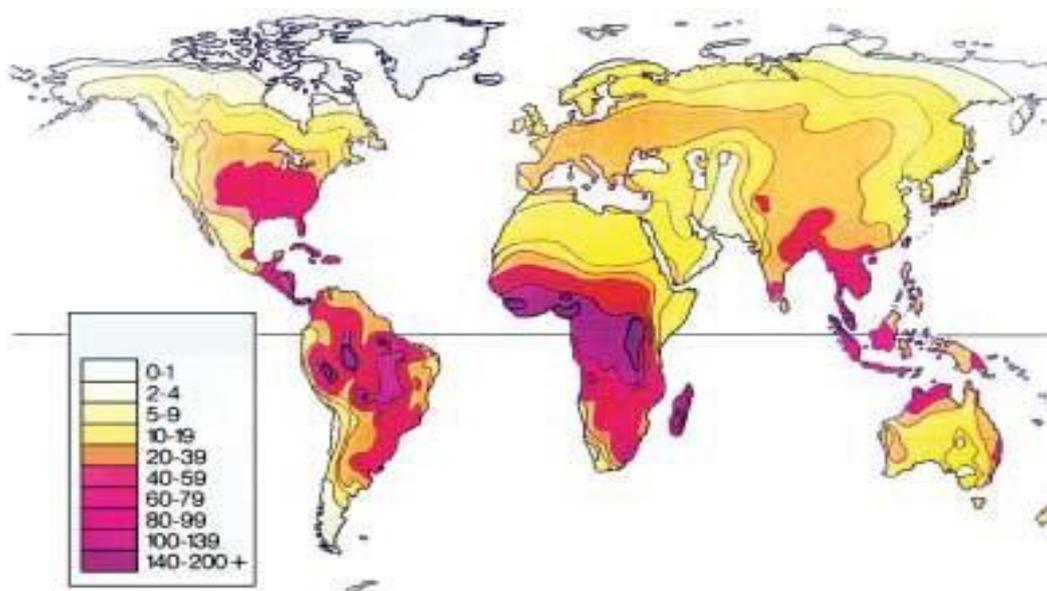


Figure 6 Niveaux kérauniques à travers le monde

La décision d'installer une protection repose principalement sur la vulnérabilité de l'équipement contenu dans l'installation ou de la structure elle-même. Si la structure est particulièrement résistante à la foudre (comme une marque de jour métallique) ou si elle ne contient aucun équipement vulnérable à la foudre, la protection n'est pas justifiée.

Des installations de mise à la terre adaptées aux phares et aux locaux techniques dans la plupart des sites sont essentielles afin de minimiser le danger pour le personnel et les dommages aux bâtiments. Des mesures simples et relativement peu coûteuses pour le traitement des circuits des réseaux de télécommunication entrants et des installations électriques devraient fournir une protection supplémentaire efficace, même pour les équipements de communication et de télémétrie modernes.

1 Niveau kéraunique - il est défini comme le nombre de jours par an où l'on peut entendre le tonnerre.



5. TYPES DE DOMMAGES CAUSÉS PAR LA Foudre

Il existe deux catégories principales de coups de foudre. Dans la première catégorie (impact direct), le bâtiment ou la structure est frappée par la foudre et des courants très forts s'écoulent vers la terre (potentiel de terre) par le biais du système de protection contre la foudre et, dans certains cas, via les éléments constitutifs de la structure. Dans le deuxième type (impact indirect), d'autres bâtiments, structures, arbres ou le sol à une certaine distance de la structure sont frappés, et le courant circule vers le site distant. Le potentiel (tension) peut être tout aussi élevé dans le cas d'un impact indirect.

5.1. IMPACT DIRECT

Lors d'un coup de foudre direct sur un bâtiment ou une structure, des courants pouvant atteindre 200 000 ampères s'écoulent vers la terre. Le potentiel électrique de la terre à proximité immédiate de l'impact peut s'élever à plusieurs centaines de kilovolts au-dessus de celui de son environnement. Un amorçage latéral se produira entre les conducteurs de foudre et toute surface conductrice qui n'est pas reliée électriquement par un chemin à faible impédance au circuit de terre du système de protection contre la foudre. Des courants très élevés, endommageant les équipements, circuleront par ces amorçages latéraux si la surface conductrice emprunte un chemin distinct vers la terre (par exemple, les réseaux de distribution entrants, les câbles enterrés, etc.)

5.2. IMPACT INDIRECT

Il n'est pas nécessaire que la foudre frappe une aide à la navigation (AtoN) pour que cette dernière, ainsi que son contenu, soient endommagés. Comme pour l'impact direct, le potentiel électrique de la terre dans la zone de l'impact atteindra rapidement un nombre élevé de kilovolts au-dessus de la normale et cette tension transitoire sera induite ou conduite dans tous les réseaux de distribution (présentant des parties conductrices) qui traversent la zone de l'impact ou en sont proches. Si une aide à la navigation est reliée à ces réseaux de distribution, les tensions transitoires apparaîtront sur celle-ci et pourront, si ces réseaux ne sont pas raccordés au circuit de terre du système de protection contre la foudre de l'aide à la navigation, provoquer des amorçages latéraux à l'intérieur de cette dernière, même si l'impact se trouve à plusieurs kilomètres de distance. Il s'agit probablement de la forme la plus courante de dommages causés par la foudre.

6. CONCEPTION

6.1. LES BASES DE LA PROTECTION CONTRE LA Foudre

L'ampleur d'une décharge de foudre défie toute tentative d'empêcher le courant de foudre d'endommager l'équipement. Par conséquent, la philosophie de base de la protection contre la foudre consiste à détourner le courant de foudre des personnes et des équipements vulnérables le long d'un chemin efficace vers le sol où il pourra se dissiper en toute sécurité.

6.2. CONCEPTION DE LA PROTECTION STRUCTURELLE CONTRE LA Foudre

La première étape de la conception et de l'installation d'un système de protection contre la foudre vise à définir l'emplacement des terminaisons aériennes, des conducteurs de descente et du réseau de terminaisons à la terre appropriés, qui capteront les décharges de la foudre pour les conduire à la terre avec un minimum de perturbations. Il convient que le réseau de terminaison du système de protection contre la foudre soit conçu conformément aux normes nationales ou internationales applicables.

Actuellement, il existe généralement trois types de méthodes de calcul pouvant être utilisées pour protéger les structures contre les coups de foudre, mais seules les deux méthodes les plus appropriées sont abordées ici. Ces deux méthodes permettent de déterminer le meilleur emplacement pour les terminaisons aériennes.

6.2.1. MÉTHODE DE L'ANGLE DE PROTECTION

Cette méthode permet de définir l'angle de protection à l'aide d'un cône inversé et convient le mieux aux structures hautes et isolées. Il convient d'installer des terminaisons aériennes au sommet de chaque cône (voir la Figure 7). L'angle de protection varie en fonction de la hauteur de la structure et du niveau de protection (voir le Tableau 1). En outre, toute structure située en dehors du cône de protection devra être équipée d'une terminaison aérienne et d'un second cône de protection en fonction de sa hauteur. Toutes les terminaisons aériennes doivent être convenablement reliées entre elles.

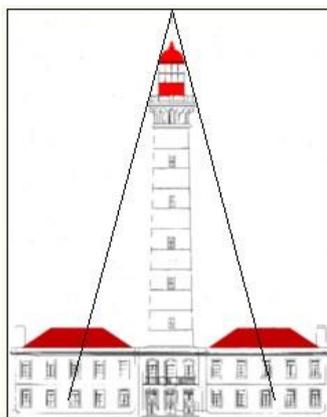


Figure 7 Méthode de l'angle de protection (cône inversé)

6.2.2. MÉTHODE DE LA SPHÈRE FICTIVE

Cette méthode est employée lorsque la zone à protéger comporte un ou plusieurs bâtiments attenants ou présente une forme plus complexe (voir la Figure 8). Dans ce cas, une sphère d'une taille donnée, en fonction du niveau de protection requis (voir le Tableau 1), est mise en rotation le long de la structure et, à chaque point de contact, une terminaison aérienne est nécessaire. Comme ci-dessus, ces éléments devront être reliés ensemble de manière appropriée.

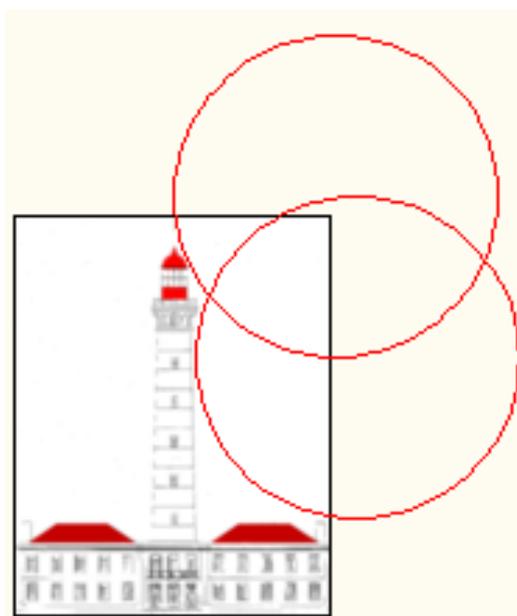


Figure 8 Méthode de la Sphère fictive

6.2.3. MÉTHODE DE LA SPHÈRE FICTIVE LORS DE L'UTILISATION DE PARATONNERRES EXCITÉS

Bien que cela ne figure pas dans la norme CEI, certains pays utilisent des paratonnerres ionisants non radioactifs ou à excitation par impulsions. Lorsque ces dispositifs doivent être utilisés pour la protection, le rayon de la sphère fictive s'élargit pour le même niveau de protection (voir la Figure 9).

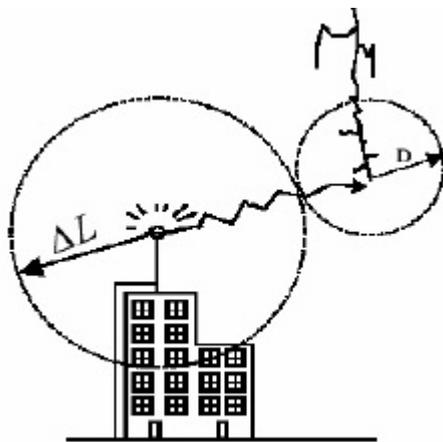


Figure 9 Méthode de la Sphère fictive élargie

Le niveau d'élargissement est déterminé par la formule suivante et est défini par la norme française *NF C 17-102 (1995)* [11] et la norme portugaise *NP 4426 (2003)* [10].

$$R_p = \sqrt{h(2D - h) + \Delta L(2D + \Delta L)} \text{ for } h \geq 5 \text{ meters}$$

Équation 1 Calcul du rayon de protection

où :

R_p est le rayon de protection

h est la hauteur du paratonnerre par rapport au plan horizontal passant par le sommet de l'élément à protéger.

D est de 20 m pour le niveau de protection I, de 30 m pour le niveau de protection II, de 45 m pour le niveau de protection III et de 60 m pour le niveau de protection IV, en fonction de l'analyse de risque spécifique.

$\Delta L = \Delta T$ du paratonnerre (réponse du paratonnerre) à installer (voir les tableaux du fabricant).

Tableau 1 Extrait de la norme CEI 62305-3

NIVEAU DE PROTECTION	Hauteur du sommet du cône de protection (mètres) (a)						Rayon de la sphère fictive (m)
	10	20	30	40	50	60	
	Angle de protection (degrés) (b)						
I (très élevé)	45	20	⊙	⊙	⊙	⊙	20
II (élevé)	55	35	25	⊙	⊙	⊙	30
III (normal)	60	45	35	25	⊙	⊙	45
IV (faible)	65	55	45	35	30	25	60

a - Pour des hauteurs différentes, il est possible d'utiliser une interpolation linéaire des valeurs données pour les angles de protection.
b - Angle entre la verticale et le bord du cône.
c - Dans ce cas, la méthode de la sphère fictive est appliquée.

La Figure 10 vise à simuler les zones protégées par un ou plusieurs paratonnerres, en supposant un niveau de protection III (normal) avec une sphère fictive de 45 m de rayon.

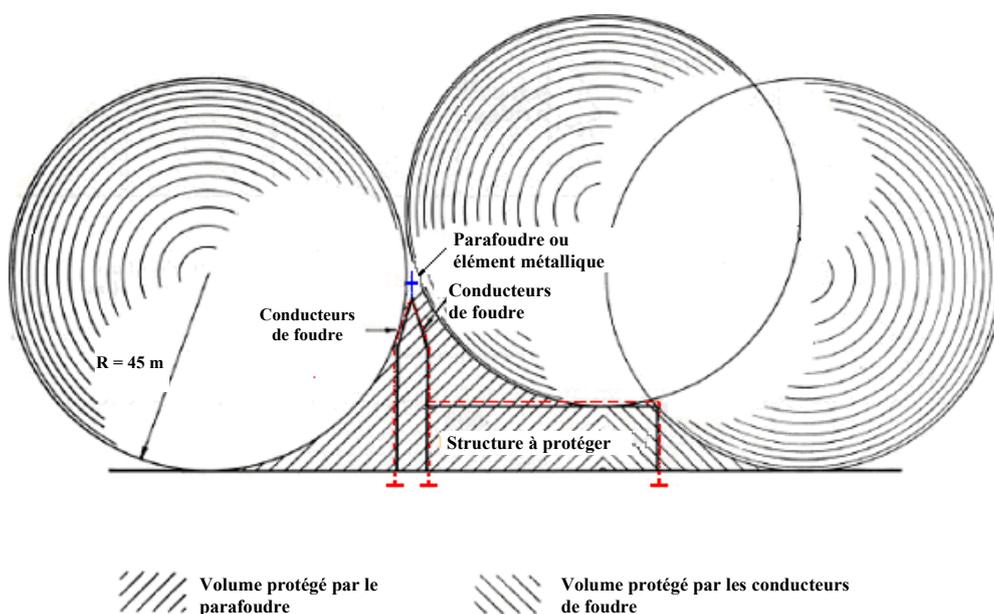


Figure 10 Vérification de la protection par le modèle de la sphère fictive

Le choix de la méthode utilisée et le niveau de protection requis seront déterminés par les résultats de l'analyse des risques décrite précédemment. Toutefois, en règle générale, la technique de la sphère fictive, utilisant une sphère de 10 kA (45 m de rayon), est recommandée pour déterminer l'emplacement des terminaisons aériennes dans toutes les installations d'aide à la navigation, à l'exception des plus rudimentaires. Pour les structures simples ne dépassant pas 20 m de hauteur, la technique de la zone de protection à 45 degrés est adéquate.

6.3. CONCEPTION DE LA PROTECTION INTERNE CONTRE LA Foudre

La deuxième étape de la conception des systèmes de protection contre la foudre, tout aussi importante, est celle de la liaison, du blindage et de la protection des interfaces. L'idée est que même avec un réseau de terminaison efficace, la foudre est un phénomène si violent que des tensions et des champs électromagnétiques importants seront toujours créés sur le site et pourront causer des dommages.

Les mesures à prendre dans ce cas, qui peuvent avoir été identifiées comme des mesures d'atténuation au cours de l'étape d'analyse des risques, s'inscrivent généralement dans les démarches suivantes :

- Situer idéalement l'équipement dans des zones données, afin de simplifier la création de zones équipotentielles dans un bâtiment où l'équipement, les cabines de commande et le blindage des câbles peuvent tous être reliés de manière appropriée.
- Installer des dispositifs parasurtenseurs (SPD) appropriés sur tous les câbles au plus près du point d'entrée dans les zones équipotentielles depuis l'extérieur.

S'il existe une distance verticale importante entre les zones équipotentielles, la protection peut être renforcée par l'installation d'un parasurtenseur pour les câbles entrant ou sortant des zones équipotentielles choisies.

- Si possible, localiser tous les réseaux entrants ou sortants ensemble et installer un parasurtenseur au point d'entrée/sortie du bâtiment.
- Relier toutes les zones équipotentielles de manière transversale à un point de mise à la terre principal à l'aide d'un conducteur de terre correctement dimensionné.
- Dans le cas d'un système isolé, il convient de n'établir la liaison transversale entre le point de mise à la terre interne et le système de protection contre la foudre externe qu'au niveau du sol.

6.4. APPLICATION DE MÉTHODES DE PROTECTION CONTRE LA Foudre POUR L'ÉQUIPOTENTIALISATION D'UNE STRUCTURE

Pour illustrer cela, la Figure 11 montre un phare et un bâtiment alimentés par un réseau de distribution aérien. L'installation est surveillée à distance par le biais d'une ligne téléphonique. Les terminaisons du système de protection contre la foudre de la Figure 11 ont été correctement conçues et une impédance de terre de 2 ohms a été créée pour dissiper le courant de foudre. La liaison entre la tour, le bâtiment et le conducteur de descente a permis d'obtenir une très faible résistance du conducteur de descente, bien que la tour du phare puisse créer une inductance du conducteur de descente d'environ 10 μ H.

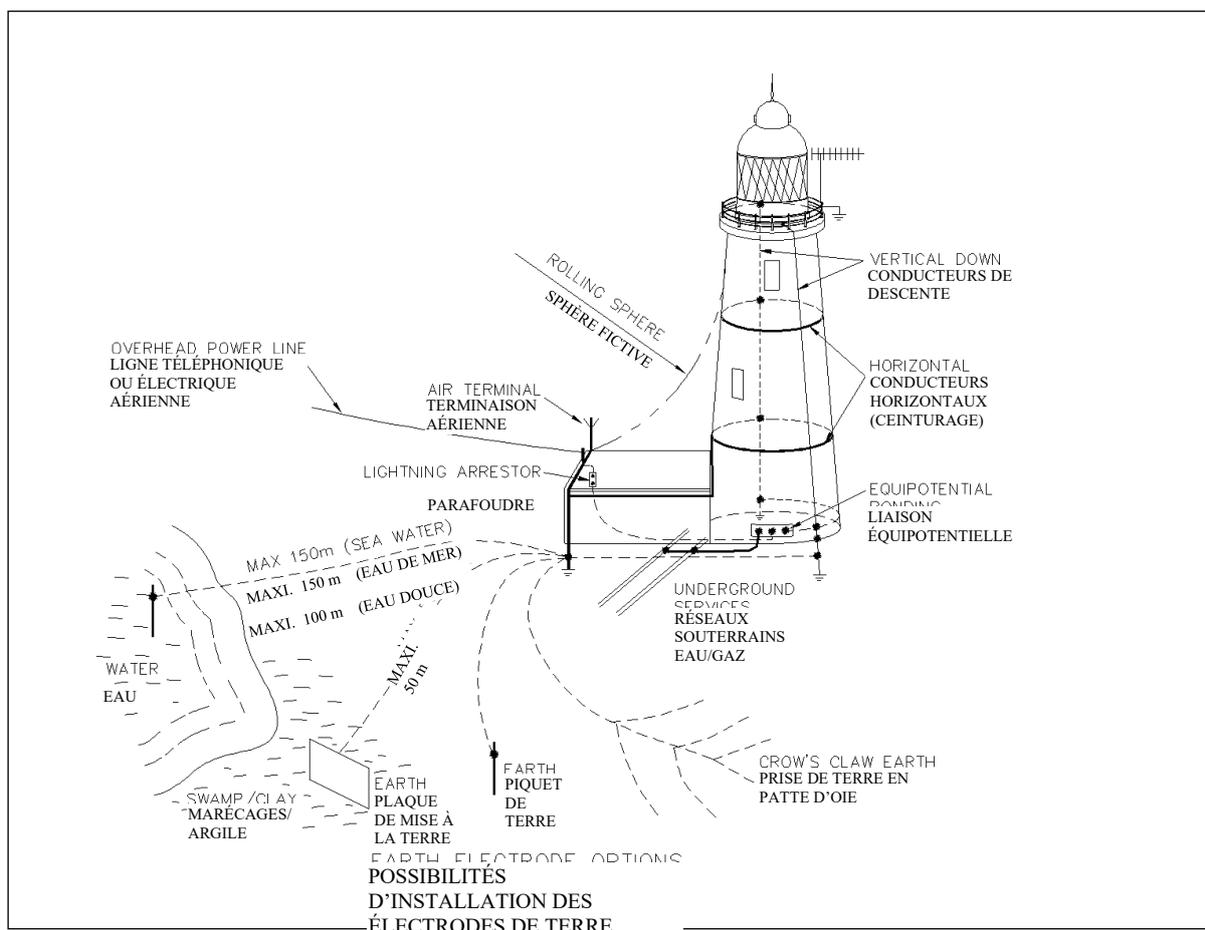


Figure 11 Illustration des différentes dispositions de liaison et de mise à la terre

Même si le réseau de terminaison du système de protection contre la foudre a été correctement conçu et installé, des tensions significatives seront toujours générées sur ce site, y compris lors d'une décharge modérée. Si cette installation est frappée par un coup de foudre modéré avec un temps de montée de 1 μ s à 100 kA, 10 kV seront générés à travers l'inductance de la tour pendant le front de montée du coup. Sachant que le câble d'alimentation de la lampe remonte également par la tour et est relié à la terre à chaque extrémité, cette tension est appliquée à travers ce câble et, surtout, à travers ses terminaisons. Par conséquent, ces terminaisons (par exemple, le changeur de lampe ou l'étage de sortie de l'alimentation) seront endommagées par la surtension si elles ne sont pas correctement protégées.

Lors de ce même coup, 20 kV sont également générés à travers l'impédance de prise de terre au courant de crête du coup. Vu que le site est relié par le réseau téléphonique commuté public (RTCP) à un site distant non perturbé par la foudre, cette tension sera appliquée à travers l'interface de la ligne RTCP et à la ligne elle-même. Il en résultera un flux de courant du site vers la terre éloignée non perturbée, ce qui endommagera l'interface.

La solution à ce problème consiste à mettre en œuvre une liaison pour créer des zones équipotentielles sur le site et à veiller à ce que les connexions entre ces zones équipotentielles soient convenablement protégées. Dans l'exemple, il convient d'utiliser une liaison au sommet de la tour (au niveau du feu) et dans le bâtiment d'alimentation électrique. Cette liaison vise à garantir que lors d'un coup de foudre, aucune tension significative n'est générée entre les équipements à l'intérieur de chaque zone équipotentielle. Il convient alors d'utiliser la liaison pour connecter ces zones équipotentielles de manière efficace et par le chemin le plus court vers le système de protection contre la foudre. Si possible, il y a lieu de ne réaliser qu'une seule connexion au conducteur de descente du système de protection contre la foudre depuis chaque zone équipotentielle afin de s'assurer que le courant de foudre direct ne circule pas à travers le réseau de liaison de la zone en s'écoulant vers la terre.

Le système de protection contre la foudre doit être conçu de manière à garantir qu'un minimum absolu de tension



soit généré le long du chemin de décharge de la foudre. Sinon, une tension inutile sera générée entre les zones équipotentielles, ce qui compliquera la protection des interfaces reliant les zones. La protection des interfaces et des câbles qui relient les zones, y compris les câbles provenant des zones éloignées, par exemple les lignes RTCP, doit être conçue de manière à éviter tout dommage compte tenu des tensions attendues et du système de terminaison de protection contre la foudre installé.

6.5. RÉCAPITULATIF DE L'APPROCHE DE CONCEPTION

L'installation d'une protection complète contre la foudre conformément à la présente directive n'est pas forcément rentable pour tous les phares et toutes les aides à la navigation. Toutefois, certaines mesures sont considérées comme essentielles.

6.5.1. PROTECTION OBLIGATOIRE

Il convient de prendre les mesures suivantes :

- Protection des bâtiments et des structures conformément au chapitre Protection des structures ci-après
- Mise à la terre conformément au chapitre relatif à la mise à la terre
- Liaison des réseaux d'électricité, de téléphonie, de gaz et d'eau entrants et sortants
- Installation de parasurtenseurs dans tous les circuits électriques et de communication entrants et sortants

6.5.2. PROTECTION VIVEMENT RECOMMANDÉE

Il convient de prendre les mesures suivantes :

- Liaison des réseaux de panneaux photovoltaïques, des signaux de brume distants, etc.
- Installation de conducteurs de liaison sur les chemins de câbles et les goulottes
- Liaison des enceintes métalliques et des plaques supports des boîtiers isolés
- Liaison du blindage des câbles d'alimentation des antennes de radiocommunication et de radiobalises.

6.5.3. MESURES COMPLÉMENTAIRES RECOMMANDÉES

Les mesures suivantes réduiront encore le risque de dommages :

- Positionnement des équipements de commande et de surveillance de sorte à réduire les passages de câbles verticaux
- Installation de parasurtenseurs sur les grandes longueurs de câbles des systèmes d'alimentation, de télémétrie, de commande et de détection
- Déplacement des réseaux de distribution entrants pour permettre une liaison courte et directe
- Des conducteurs de descente externes supplémentaires réduiront le courant dans les conducteurs internes
- Utilisation de la surveillance distribuée pour réduire le nombre de câbles des systèmes de détection
- Utilisation de fibres optiques pour les grandes longueurs de câbles des systèmes de détection
- Installation de parasurtenseurs sur les câbles d'alimentation des antennes de radiocommunication
- Concentration des aides à la navigation sensibles dans une zone restreinte et mise en œuvre d'un périmètre de protection englobant cette zone restreinte en installant des parasurtenseurs sur tous les câbles entrant et sortant de la zone.

7. INSTALLATION

7.1. PROTECTION DES STRUCTURES

7.1.1. GÉNÉRALITÉS

Il y a lieu de prévoir au moins deux conducteurs de descente verticaux d'au moins 50 mm², généralement en cuivre (d'autres matériaux peuvent être utilisés, voir le Tableau 2). Il convient de les espacer horizontalement de manière régulière sur le périmètre extérieur du bâtiment (intervalle maximal de 10 m). Cet intervalle peut être porté à 20 m, mais il dépend de la classe du système de protection contre la foudre, déterminée par l'évaluation des risques.

Il y a lieu d'installer les câbles de descente sur la structure en utilisant des fixations appropriées à raison de 3 par mètre dans la mesure du possible.

Il convient que chaque conducteur de descente soit tiré verticalement, en évitant les rayons de courbure prononcés dans la mesure du possible. Les boucles rentrantes de plus de 8 d ne sont pas autorisées (pour la définition de la mesure « d », voir la Figure 12).

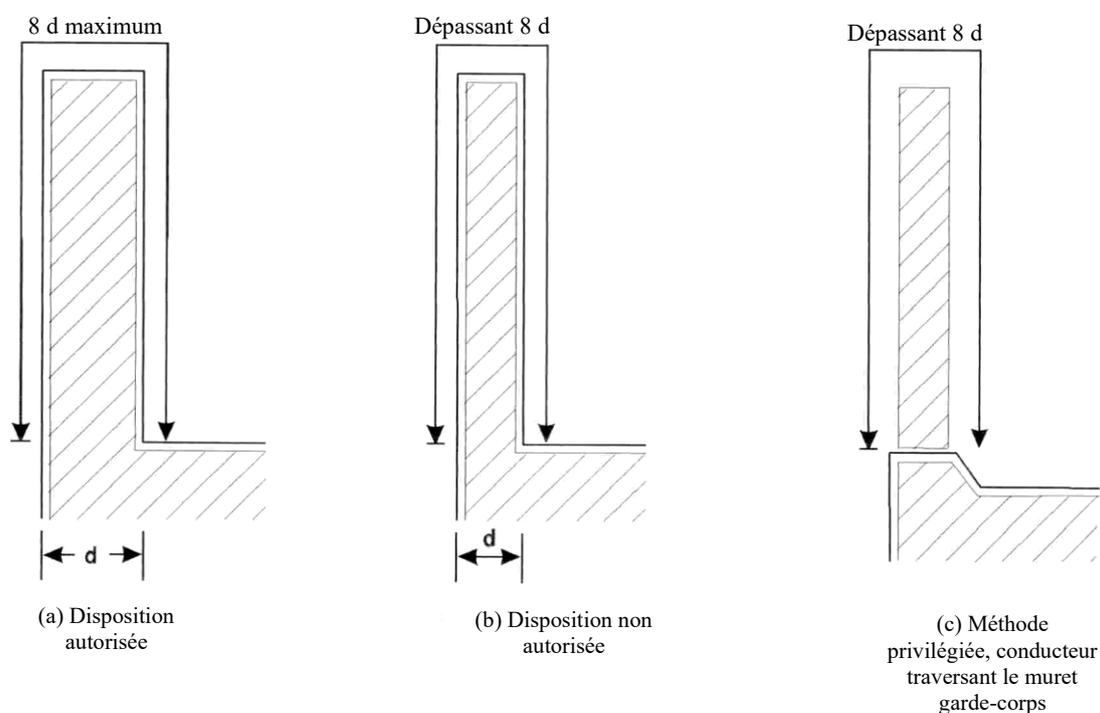


Figure 12 Disposition des boucles

Il convient que chaque électrode de terre soit munie d'un joint de contrôle à une hauteur adaptée à la situation, mais généralement comprise entre 0,3 m et 3 m au-dessus du niveau du sol. Une protection mécanique des conducteurs de descente peut être nécessaire à proximité du sol pour assurer la sécurité du système.

À des fins d'analyse statistique, un compteur de coups de foudre peut éventuellement être installé sur l'un des câbles de descente.

Il y a lieu de relier tous les conducteurs de descente entre eux par un conducteur horizontal continu (ceinturage) d'au moins 50 mm², généralement en cuivre. D'autres matériaux peuvent être utilisés, voir le Tableau 2. Cette liaison sera idéalement située au point le plus bas possible au-dessus des joints de contrôle. Lorsque la structure dépasse 20 m de hauteur, il convient de prévoir des conducteurs de ceinturage supplémentaires (voir la Figure 13),

espacés régulièrement sur toute la hauteur de la structure selon des intervalles ne dépassant pas 20 m.

Tableau 2 Extrait de la norme CEI 62305-3 concernant les dimensions et les types de matériaux

Matériau	Configuration	Section en mm ²
Cuivre, Cuivre étamé	Plate pleine	50
	Ronde pleine ^b	50
	À torons ^b	50
	Ronde pleine ^c	176
Aluminium	Plate pleine	70
	Ronde pleine	50
	À torons	50
Alliage d'aluminium	Plate pleine	50
	Ronde pleine	50
	À torons	50
	Ronde pleine ^c	176
Alliage d'aluminium recouvert de cuivre	Ronde pleine	50
Acier galvanisé à chaud	Plate pleine	50
	Ronde pleine	50
	À torons	50
	Ronde pleine ^c	176
Acier recouvert de cuivre	Ronde pleine	50
	Plate pleine	50
Acier inoxydable	Plate pleine ^d	50
	Ronde pleine ^d	50
	À torons	70
	Ronde pleine ^c	176
^a	Les caractéristiques mécaniques et électriques ainsi que les propriétés de résistance à la corrosion doivent être conformes aux exigences de la future série CEI 62561.	
^b	La section de 50 mm ² (8 mm de diamètre) peut être réduite à 25 mm ² dans certaines applications où la résistance mécanique n'est pas une exigence essentielle. Dans ce cas, il convient d'envisager de réduire l'espacement entre les fixations.	
^c	Applicable aux tiges de terminaison aérienne et aux piquets de terre. Pour les tiges de terminaison aérienne pour lesquelles les contraintes mécaniques, telles que la charge du vent, ne sont pas critiques, une tige de 9,5 mm de diamètre et de 1 m de long peut être utilisée.	
^d	Si les considérations thermiques et mécaniques sont importantes, il y a lieu de porter ces valeurs à 75 mm ² .	

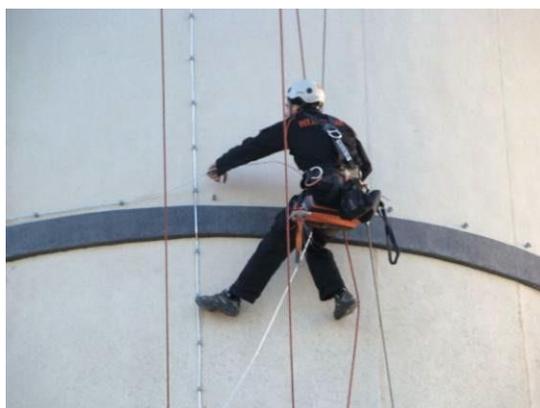


Figure 13 Installation du ceinturage

Il est essentiel que chaque conducteur de descente dispose d'une électrode de terre distincte.

Il convient d'inspecter et de tester les conducteurs de descente existants. Il y a lieu d'installer un joint de contrôle si ce n'est pas déjà le cas. Il convient d'inspecter et de tester la mise à la terre conformément au paragraphe 8.2.

Lorsque l'aide à la navigation est une lanterne dotée d'une murette et d'un toit métallique, la structure du toit peut être utilisée comme terminaison aérienne, mais il convient que l'extrémité supérieure de chaque conducteur de descente soit reliée à la base de la murette (voir la Figure 14).



Figure 14 Exemple de mise à la terre d'une murette

Lorsque la lanterne ou le toit de la lanterne n'est pas conducteur, il convient de prévoir un réseau de terminaisons aériennes au point le plus haut de la structure et de relier tous les conducteurs de descente à ce réseau. La terminaison aérienne se présentera idéalement sous la forme d'un maillage de bandes conductrices disposées de sorte qu'aucune partie du toit ne se trouve à plus de 5 m d'un conducteur. Lorsque des embouts verticaux sont prévus pour la terminaison aérienne, il convient qu'ils mesurent plus de 0,3 m de hauteur, qu'ils soient plus hauts que toute antenne, qu'ils soient situés aux intersections du maillage horizontal et qu'ils ne soient pas espacés de plus de 10 m les uns des autres. Il convient de relier toutes les projections métalliques sur ou au-dessus du toit à la terminaison aérienne. Lorsque des mains courantes sont installées sur le toit, celles-ci peuvent constituer la terminaison aérienne à condition d'être reliées à intervalles fréquents à un conducteur de ceinturage lui-même relié aux conducteurs de descente. Lorsqu'il existe des structures métalliques au niveau de la galerie, telles que des échelles, des supports d'antenne, des structures de panneaux solaires, des balcons, des mains courantes, etc., celles-ci doivent être reliées de manière transversale aux conducteurs de descente.

7.1.2. STRUCTURES ET BÂTIMENTS INDÉPENDANTS

Lorsqu'une station comprend deux bâtiments distincts ou plus, par exemple un phare, un bâtiment de générateur, un bâtiment de signaux de brume, etc., il convient que chaque bâtiment soit équipé de son propre système de protection contre la foudre, interconnecté au système de protection contre la foudre du bâtiment principal au

moyen d'un conducteur d'au moins 50 mm². Il y a lieu de relier les réseaux entrants (téléphonie, électricité, etc.) de ces bâtiments au système de protection contre la foudre de la dépendance de la même manière que pour le bâtiment principal.

7.1.3. TOURS EN TREILLIS D'ACIER

Il convient que chaque pied d'une tour en treillis d'acier soit doté d'un système de protection contre la foudre mis à la terre. Il y a lieu d'interconnecter ces piquets de terre distincts entre le pied de la tour et le joint de contrôle de terre ; il convient que l'interconnexion soit elle-même reliée au système de protection contre la foudre du bâtiment principal (voir la Figure 15).

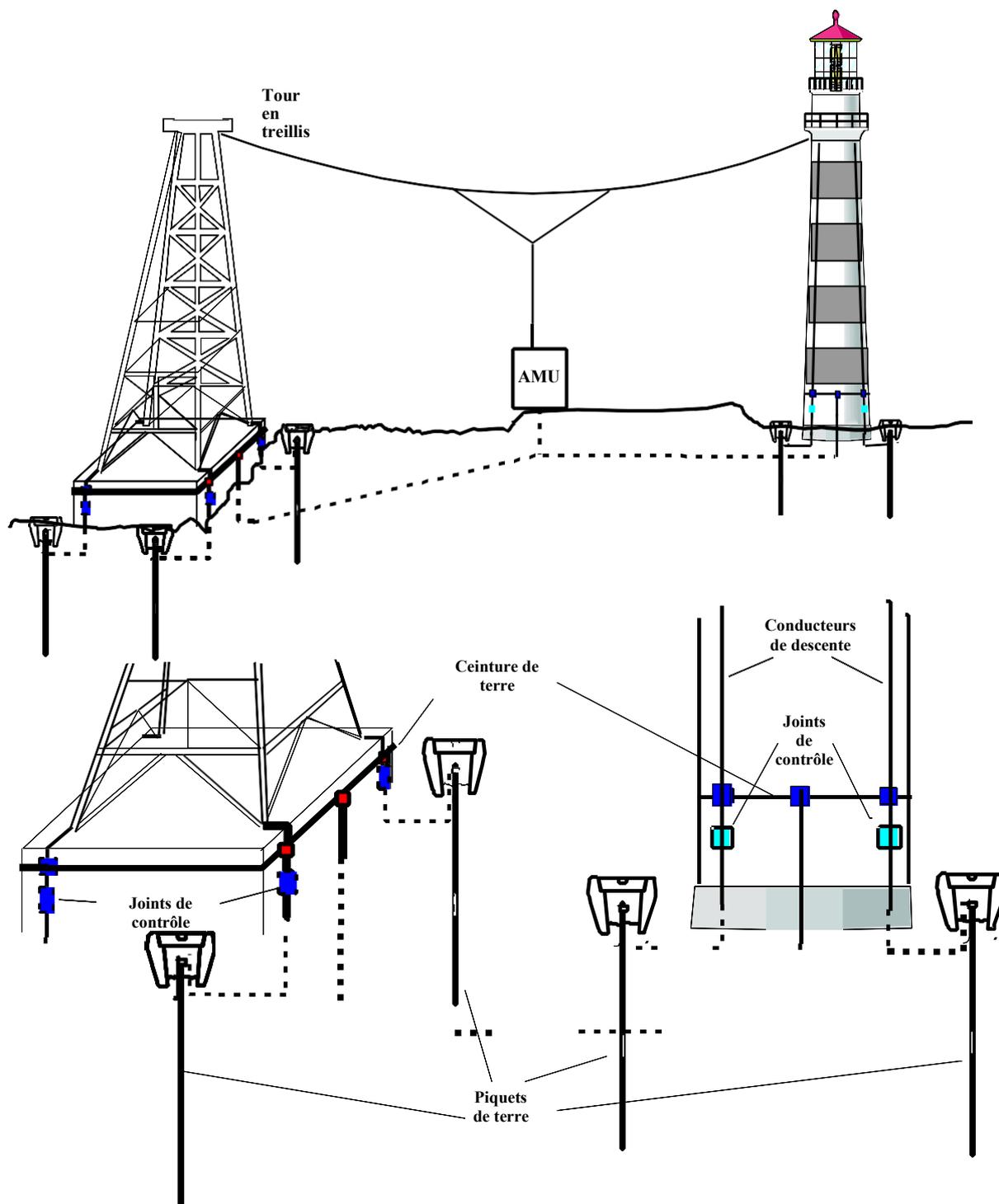


Figure 15 Système de protection contre la foudre

7.1.4. AIDES FLOTTANTES

La majorité des aides flottantes telles que les navires-phares, les bouées, les feux flottants et les bouées-phares (LANBY) ont une structure métallique et forment une cage de Faraday, protégeant efficacement les équipements électroniques sensibles installés à l'intérieur de la coque ou de la superstructure. Toutefois, des tensions induites sont possibles et peuvent être évitées en veillant à ce que les enceintes métalliques soient mises à la terre sur la structure métallique du navire ou de la bouée. Il y a lieu de doter les antennes des équipements radio et de navigation d'un chemin de décharge vers la terre comprenant des parasurtenseurs.

Il convient que les bouées et les navires à coque en plastique ou en PRV soient équipés d'une terminaison aérienne avec un chemin de faible impédance vers la terre afin d'éviter tout dommage causé à la superstructure métallique. La superstructure métallique peut servir de terminaison aérienne. Il convient que la terminaison de terre soit en cuivre ou constituée d'un autre matériau conducteur d'au moins 0,25 m² compatible avec l'eau de mer et installée de manière à être immergée en permanence sous la ligne de flottaison.

7.2. LIAISON

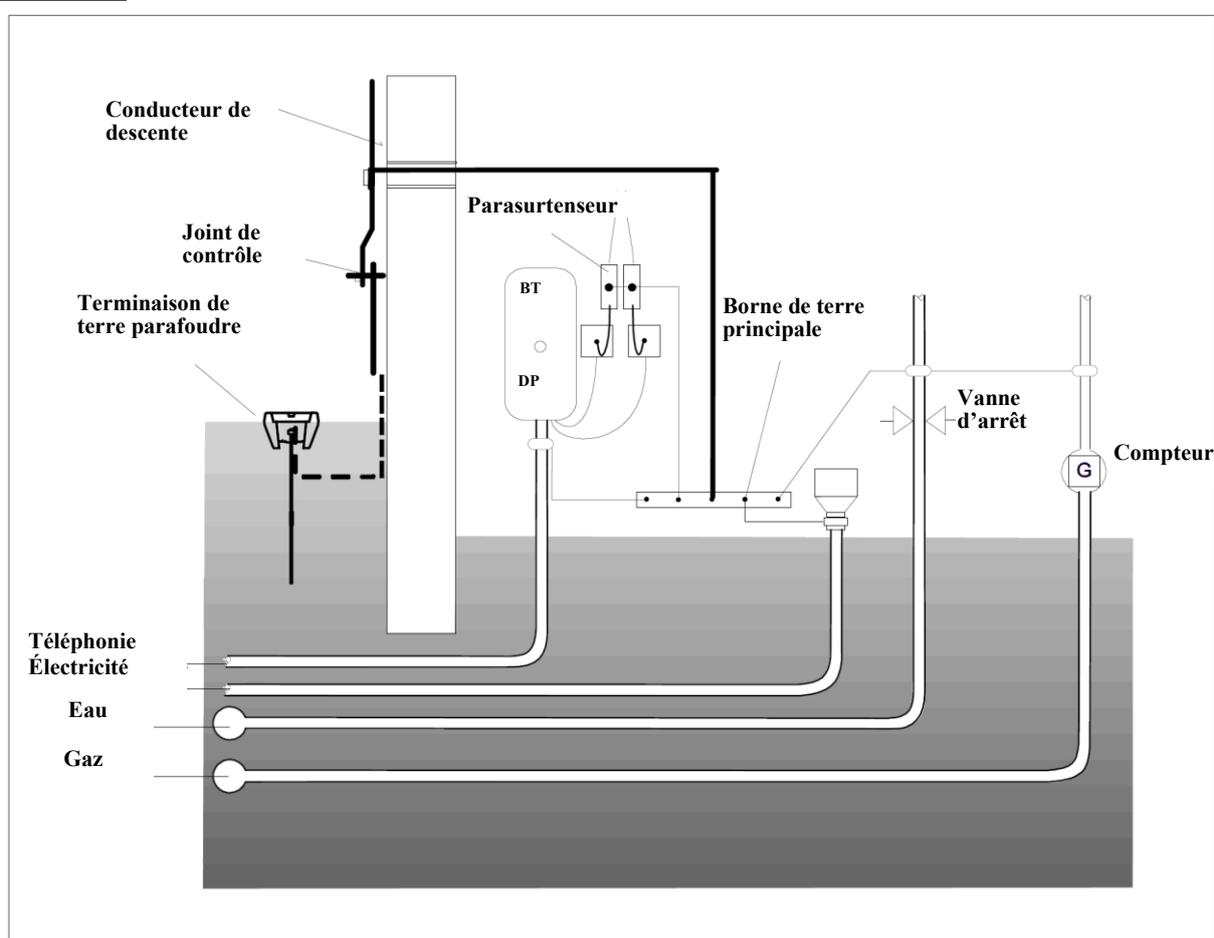


Figure 16 Exemple de liaisons

7.2.1. RÉSEAUX ENTRANTS ET SORTANTS

Il convient de relier tous les réseaux entrants et sortants au système de protection contre la foudre au niveau du point d'entrée dans le bâtiment. Ces liaisons seront, dans l'idéal, aussi courtes et directes que possible, voir la Figure 16. Il convient que la section du conducteur de liaison en cuivre ne soit pas inférieure à 16 mm². Les conducteurs utilisés pour se conformer aux réglementations nationales en vigueur en matière de câblage ne sont pas adaptés à la protection contre la foudre.

Il peut être nécessaire de consulter l'opérateur du réseau concerné avant d'effectuer ces travaux. Dans certains cas, il peut être nécessaire pour l'opérateur de déplacer le point d'entrée dans le bâtiment.

Les conducteurs qui pénètrent dans le bâtiment peuvent transporter des courants de foudre ou des transitoires de tension et sont considérés comme « non traités ». Les conducteurs internes situés au-delà du point de mise à la terre, et de la protection contre les surtensions le cas échéant (voir le paragraphe 7.3) sont considérés comme « traités ». Il est essentiel que les conducteurs traités ne soient pas acheminés à proximité ou parallèlement à des conducteurs non traités. La Figure 17 montre comment disposer les câbles vers et depuis les parasurtenseurs.

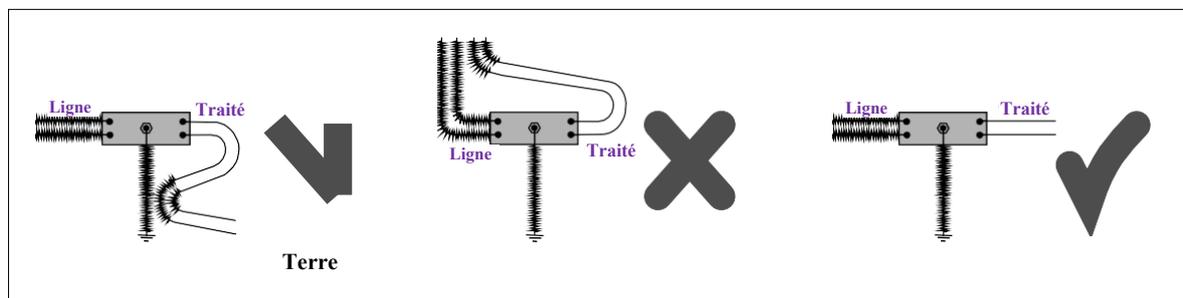


Figure 17 Disposition des câbles

7.2.2. ALIMENTATION ÉLECTRIQUE

Il convient de protéger tous les circuits électriques, y compris ceux des alimentations des stations et domestiques. Le blindage des câbles souterrains doit au moins être relié par une connexion courte et directe au système de protection contre la foudre (Figure 16). Les stations particulièrement vulnérables, par exemple celles où le transformateur basse tension se trouve hors site et/ou celles dont la résistance à la terre est élevée, peuvent nécessiter une protection supplémentaire sous la forme d'un parasurtenseur.

7.2.3. CIRCUITS TÉLÉPHONIQUES

Il convient de protéger tous les circuits téléphoniques, y compris les installations des stations et domestiques, car si seul le circuit de télémétrie est protégé, les surtensions sur les autres installations pourront induire des tensions élevées dans les circuits protégés. Toutes les lignes téléphoniques doivent, au moins, être équipées d'un dispositif parasurtenseur au point d'entrée/sortie. Lorsque les lignes téléphoniques entrantes se présentent sous la forme d'un câble souterrain blindé, il convient de demander à l'opérateur téléphonique local d'autoriser la liaison du blindage au système de protection contre la foudre.

7.2.4. ALIMENTATION EN EAU

Il convient de relier les conduites d'eau métalliques entrantes (ou les conduites d'eau métalliques internes lorsque l'alimentation se fait par le biais de conduites en plastique) au système de protection contre la foudre.

7.2.5. ALIMENTATION EN GAZ

Il convient de relier les conduites de gaz métalliques entrantes au système de protection contre la foudre du côté consommateur du compteur.

7.3. STRUCTURES MÉTALLIQUES

7.3.1. GÉNÉRALITÉS

Il convient de relier au système de protection contre la foudre tous les ouvrages métalliques isolés, par exemple les socles des feux à secteurs, les fenêtres métalliques, les tuyaux d'eaux pluviales et les tuyaux métalliques enterrés. Il y a lieu de relier les tuyaux métalliques verticaux en partie haute et en partie basse. Les chutes de tension dans les conducteurs sont dues à l'inductance plutôt qu'à la résistance, et il est donc essentiel que les conducteurs de liaison soient aussi courts et droits que possible.

7.3.2. TUBES CONTREPOIDS

Le tube contrepois constitue probablement la meilleure protection contre la foudre pour l'installation (lorsqu'il est encore intact) et il convient de le relier au système de protection contre la foudre en son point le plus bas. Même lorsque le tube contrepois a été retiré, totalement ou partiellement, les fondations peuvent encore fournir un complément très utile au système de mise à la terre du bâtiment principal et il y a lieu de les employer à cette fin, voir la Figure 18.

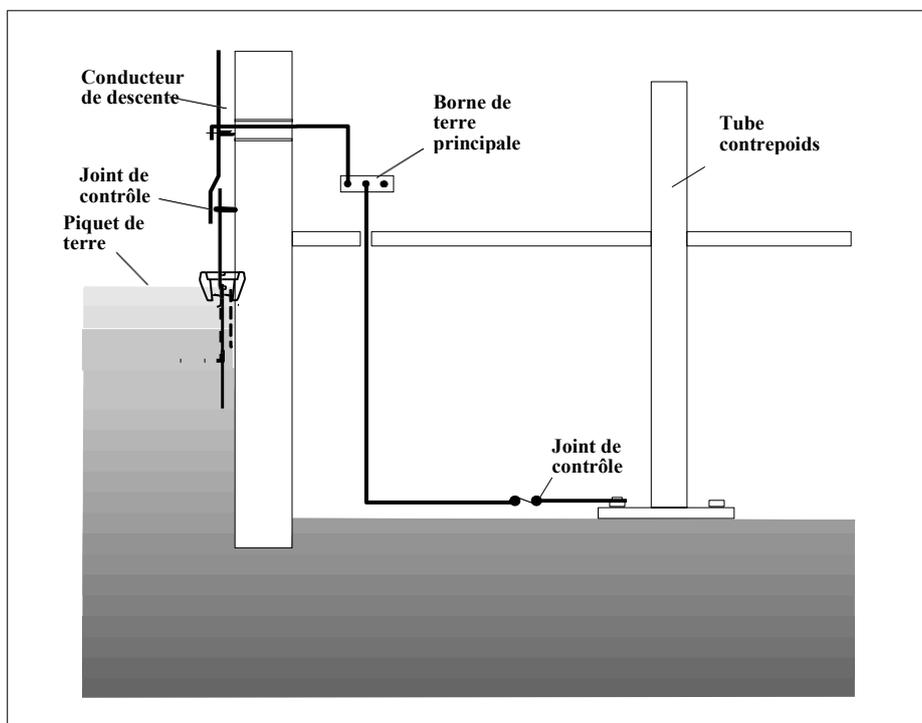


Figure 18 Mise à la terre

7.3.3. MAINS COURANTES D'ESCALIER

Il convient de relier toutes les mains courantes métalliques au système de protection contre la foudre.

7.4. SYSTÈMES D'ACHEMINEMENT DES CÂBLES

7.4.1. CONDUITS

Les conduits en acier galvanisé constituent la meilleure protection des câbles contre les effets de la foudre. Cette méthode est donc recommandée pour les câbles reliant des équipements vulnérables. Il y a lieu de visser tous les raccords sur toute la longueur du filetage.

7.4.2. GOULOTTES

Les goulottes métalliques constituent la deuxième meilleure forme de protection, à condition que les couvercles amovibles soient reliés de manière permanente au moyen d'une connexion durable et souple à chaque extrémité.

7.4.3. CHEMINS DE CÂBLES

Les chemins de câbles métalliques constituent la troisième meilleure protection (et la plus courante), à condition de respecter les points suivants :

- Il convient de ne pas utiliser les chemins de câbles et les goulottes comme seul moyen de liaison.



En raison du grand nombre de raccords et de discontinuités dans les chemins de câbles et les goulottes, il existe un risque élevé de formation de jonctions à haute résistance. Il convient de noter que l'acier inoxydable présente une résistivité par unité de longueur nettement supérieure à celle de l'aluminium, de l'acier doux ou du cuivre.

Il y a lieu de prévoir un conducteur continu en cuivre, isolé, d'au moins 16 mm² sur toute la longueur du chemin de câbles et de le relier à ce dernier au niveau de toutes les jonctions et discontinuités. Il convient de souder à l'étain toutes les jonctions du conducteur en cuivre et de les boulonner en utilisant des rondelles élastiques, ou d'étamer les connexions rivetées provenant d'armoires et de chemins de câbles, etc. afin de réduire le risque de réaction électrolytique. Il y a lieu de relier ce conducteur au circuit de terre du système de protection contre la foudre à son point le plus bas. La méthode privilégiée consiste à prévoir deux conducteurs égaux d'une section totale d'au moins 30 mm², un sur chaque bord extérieur du chemin de câbles. Il convient de relier chaque conducteur comme indiqué ci-dessus.

7.4.4. CIRCUITS DE DÉTECTION D'INCENDIE

En raison de la longueur de la plupart de ces installations, il convient d'utiliser des câbles à isolation minérale, reliés au système de protection contre la foudre aux deux extrémités.

Il est également possible d'utiliser des câbles répondant aux exigences de la norme CEI 60332 en ce qui concerne les câbles à retardateur de flamme. Il y a lieu d'équiper ceux-ci de parasurtenseurs à leur point d'entrée et de sortie de la zone équipotentielle.

7.4.5. CABINES ET ARMOIRES D'ÉQUIPEMENTS

Il convient de relier les cabines et armoires d'équipements métalliques au conducteur de terre sur le chemin de câbles ou la goulotte au moyen d'une liaison courte, directe et souple d'au moins 6 mm² (16 mm² de préférence). Il y a lieu d'éviter dans la mesure du possible d'utiliser des coffrets non métalliques pour les équipements, mais lorsqu'ils sont employés, il convient de relier la plaque support métallique comme pour un coffret métallique.

7.4.6. CÂBLES DES SYSTÈMES DE DÉTECTION, DE COMMANDE ET DE DONNÉES

Il y a lieu de blinder tous les câbles d'interconnexion des systèmes de détection, de commande et de données. Il convient de relier le blindage au conducteur de terre du système de protection contre la foudre aux deux extrémités. (Un blindage de câble, relié à une seule extrémité, est inefficace pour protéger contre les tensions induites par la foudre). Dans la plupart des cas, l'effet sur les courants circulants est négligeable.

Lorsqu'une mise à la terre en un seul point est indispensable en raison du bruit induit sur les conducteurs de signaux, des parasurtenseurs supplémentaires peuvent être utilisés pour assurer la mise à la terre à l'extrémité distante. En outre, l'utilisation de câbles à double blindage peut être envisagée, la gaine extérieure étant mise à la terre aux deux extrémités pour la protection contre la foudre et la gaine intérieure étant mise à la terre à une extrémité pour minimiser le bruit induit.

Lorsque des câbles de systèmes de détection, de commande ou de données sont installés en extérieur, par exemple dans les réservoirs de stockage de carburant, il convient d'équiper ces câbles d'un parasurtenseur relié au circuit de terre du système de protection contre la foudre au point d'entrée du bâtiment. Il convient d'envisager la mise en œuvre de longueurs étendues de câbles de données pour les ordinateurs et les systèmes de commande distribués en utilisant des câbles à fibres optiques qui sont, par nature, immunisés contre les dommages causés par les tensions de décharge de la foudre. Les câbles à fibres optiques peuvent avoir une gaine métallique qu'il y a lieu de dénuder sur une bonne distance (2 m) à une extrémité si l'on souhaite obtenir une isolation électrique.

En présence de grandes longueurs de câbles pour les systèmes de détection, il convient d'utiliser un câble MICC dont la gaine en cuivre est reliée à chaque extrémité au système de protection contre la foudre ou à l'enceinte métallique reliée. Les câbles des systèmes de détection standards peuvent également être placés dans des conduits ou être équipés de parasurtenseurs à leur point d'entrée et de sortie de chaque zone équipotentielle.

7.4.7. ANTENNES DE RADIOCOMMUNICATION ET CÂBLES D'ALIMENTATION

Il convient de relier les blindages de tous les câbles d'alimentation des antennes de radiocommunication au système de protection contre la foudre au niveau de l'antenne mais également au point d'entrée dans le bâtiment. Lorsqu'un



parasurtenseur est installé, il se trouvera idéalement au point d'entrée du bâtiment et sera relié au système de protection contre la foudre.

Il y a lieu de relier également l'équipement radio au système de protection contre la foudre.

Il convient de relier les supports des antennes à élément unique et le poteau de montage des antennes Yagi par une connexion courte et directe au système de protection contre la foudre du bâtiment.

7.5. ANTENNES DE RADIOBALISES

7.5.1. TAPIS AU SOL

Le tapis au sol de la radiobalise constitue souvent un bien meilleur conducteur de terre que les dispositifs de mise à la terre pour la protection contre la foudre. Il est essentiel que ce tapis soit relié au système de protection contre la foudre de la station, à l'aide d'un ruban ou d'un câble de cuivre de 50 mm².

7.5.2. CÂBLE D'ALIMENTATION D'ANTENNE

Il convient que le blindage du câble d'alimentation de l'antenne de la radiobalise soit relié au tapis au sol de l'unité d'adaptation d'antenne (AMU) et au circuit de terre du système de protection contre la foudre de la station au point d'entrée dans le bâtiment.

7.5.3. STRUCTURES DE SUPPORT D'ANTENNE

Il convient de relier toutes les structures de support d'antenne à leur propre électrode de terre et au tapis au sol de la radiobalise. Si la résistance à la terre du tapis au sol est supérieure à 10 ohms, des piquets de terre supplémentaires peuvent être nécessaires, en fonction des conditions du sol (par exemple dans le cas d'un sol rocheux).

Si la structure de support de l'antenne est une tour en treillis d'acier, les dispositions de mise à la terre pour les tours en treillis s'appliqueront. Il convient de relier tous les ancrages au sol des poteaux haubanés au tapis au sol.

Il convient que tous les ancrages du bâtiment pour les antennes en « T », etc. soient reliés au système de protection contre la foudre du bâtiment.

7.6. AUTRES ÉQUIPEMENTS

7.6.1. DÉTECTEURS DE BRUME

Il convient de relier les détecteurs de brume et leurs supports au système de protection contre la foudre, et de blinder les câbles d'interconnexion (reliés aux deux extrémités) ou de les tirer dans un conduit métallique, et il y a lieu de prévoir une protection contre les surtensions.

7.6.2. SIGNAUX DE BRUME

Il convient de relier la structure métallique d'un signal de brume au système de protection contre la foudre. Lorsque le signal de brume est éloigné du phare, il y a lieu de prévoir un conducteur de terre d'au moins 16 mm² entre le signal et le bâtiment. Ce conducteur suivra idéalement le même chemin que les câbles de commande du signal et il convient de le relier au circuit de terre du système de protection contre la foudre au point d'entrée dans le bâtiment. Il peut être nécessaire d'envisager la mise en place d'une terre pour la protection contre la foudre au niveau du signal de brume lorsque celui-ci se trouve à une distance considérable du bâtiment principal ; le cas échéant, il convient que la section du conducteur de liaison transversale ne soit pas inférieure à 50 mm².

7.6.3. FEUX DE SECOURS

Lorsqu'un feu de secours est installé sur le toit d'une lanterne, par exemple, il peut être nécessaire de prévoir une terminaison aérienne au-dessus du feu de secours (différence de hauteur minimale de 300 mm), reliée au système



de protection contre la foudre du bâtiment. En outre, il convient de prévoir une protection contre les surtensions au point d'entrée dans le bâtiment.

7.6.4. RÉSEAUX DE PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES

Les réseaux de panneaux photovoltaïques (PV) sont vulnérables aux dégâts causés par la foudre, en particulier lorsqu'ils sont situés à une certaine distance du bâtiment principal. Il y a lieu d'installer localement une terminaison de terre distincte, reliée au cadre de montage du réseau. Il convient de relier ces éléments à la terre principale du système de protection contre la foudre à l'aide d'un conducteur de liaison d'au moins 50 mm², qui suivra idéalement de près les câbles CC entre le réseau de panneaux photovoltaïques et le bâtiment principal. Pour l'évaluation de cette exigence, il y a lieu d'employer la technique de la sphère fictive (voir le Tableau 1) en fonction du niveau de protection contre la foudre requis et en tenant compte de l'emplacement du réseau de panneaux photovoltaïques.

Il convient de tirer tous les câbles sur des chemins de câbles, dans des conduits ou des goulottes, ou de les serrer convenablement contre des structures métalliques ou des rubans conducteurs mis à la terre.

7.6.5. GÉNÉRATEURS

Il convient de relier le châssis du ou des générateurs au système de protection contre la foudre au moyen d'un conducteur souple d'au moins 16 mm².

7.6.6. RÉSERVOIRS DE STOCKAGE DE CARBURANT

Il y a lieu de relier les réservoirs de service au système de protection contre la foudre.

Il convient de mettre correctement à la terre les réservoirs de stockage externes et de les relier de manière transversale au système de protection contre la foudre du bâtiment du générateur.

7.6.7. CAPTEURS DE NIVEAU DE CARBURANT

Il y a lieu de réaliser les connexions des capteurs de niveau, etc., au moyen de câbles blindés, mis à la terre à chaque extrémité et, dans l'idéal, tirés dans des conduits en métal massif ou MICC. Il convient de doter le câblage des capteurs d'un parasurtenseur, relié au système de protection contre la foudre au point d'entrée dans le bâtiment. Dans des conditions extrêmes, il est possible d'envisager d'utiliser des capteurs à fibre optique autoalimentés lorsque le réservoir de stockage est éloigné du bâtiment principal.

7.6.8. ANTENNES RADAR

Les antennes radar se composent d'un dispositif de balayage rotatif monté sur un boîtier contenant un moteur d'entraînement et une boîte d'engrenages. Cet ensemble est relié au transmetteur par un guide d'ondes rectangulaire en cuivre, électriquement continu. Il y a lieu de relier le guide d'ondes et le boîtier d'entraînement à la superstructure du navire ou, dans le cas d'un phare, à son système de protection contre la foudre, ce dernier à son point d'entrée dans le phare.

7.6.9. UNITÉS SIA

Tout câble passant dans la zone équipotentielle depuis une unité SIA doit être équipé de parasurtenseurs au point d'entrée dans cette zone. Il convient que toutes les antennes VHF et les câbles d'alimentation soient traités comme indiqué au paragraphe 7.4.7 Antennes de radiocommunication et câbles d'alimentation.

7.7. PROTECTION CONTRE LES SURTENSIONS

7.7.1. GÉNÉRALITÉS

Il convient d'équiper tous les câbles entrants et sortants des systèmes d'alimentation électrique, de téléphonie, de transmission de données, de télémétrie, de détection et de commande, ainsi que les câbles d'alimentation des antennes radio, d'une protection contre les surtensions au point d'entrée dans le bâtiment (ou le plus près possible de ce point).



Il y a lieu d'installer tous les parasurtenseurs conformément aux instructions du fabricant.

En raison de la nature des installations de phare, un nombre important de câbles verticaux est à envisager. Cela augmente considérablement le risque d'introduction de surtensions transitoires induites ainsi que le phénomène de couplage résistif dans de nombreux circuits internes d'alimentation, de commande, de surveillance et de télécommunications. Il est donc essentiel que chaque installation soit évaluée et qu'une protection appropriée contre les surtensions soit mise en place. Il convient d'utiliser les documents de référence énumérés à la fin de la présente directive et, si nécessaire, de demander l'avis de consultants et de fabricants pour procéder à cette évaluation.

7.7.2. ALIMENTATION ÉLECTRIQUE

- Il y a lieu d'adapter le type et les caractéristiques du parasurtenseur à la tension d'alimentation.
- Il convient que le parasurtenseur affiche en permanence un indicateur de son état de protection.
- L'indicateur signalera idéalement une défaillance de la protection entre toutes les combinaisons de conducteurs, y compris entre le neutre et la terre (sinon un court-circuit potentiellement dangereux entre le neutre et la terre pourrait ne pas être détecté).
- Il convient que le parasurtenseur soit conçu pour un courant de décharge de crête d'au moins 10 kA, avec une forme d'onde de 8/20 microsecondes (temps de montée de 8 μ s/20 μ s, largeur d'impulsion de 3 dB).
- Le parasurtenseur limitera idéalement la surtension transitoire à un niveau inférieur à celui de l'endommagement de l'équipement. Il y a lieu de ne pas dépasser la tension transitoire de crête passante pour toutes les combinaisons de conducteurs, par exemple P-N, N-E et P-E.
- Il convient que le parasurtenseur n'interfère pas avec le fonctionnement normal du système et ne le restreigne aucunement ; il convient par ailleurs qu'il ne corrompe pas ou ne coupe pas l'alimentation électrique après le fonctionnement.
- Il convient que le parasurtenseur ne présente pas de courant de fuite à la terre élevé.

7.7.3. ALIMENTATIONS SANS INTERRUPTION (ASI)

Malgré les affirmations de certains fabricants, la plupart des alimentations sans interruption (onduleurs, ou ASI) ne disposent pas d'une protection contre les surtensions adaptée à la protection contre la foudre. Il est essentiel que l'entrée et la sortie (ou l'entrée de chaque charge) de chaque ASI soient protégées de manière adéquate.

7.7.4. RÉSEAUX DE PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES

Il convient que les réseaux de panneaux photovoltaïques, en particulier ceux qui sont installés à une certaine distance du bâtiment principal, soient équipés de parasurtenseurs sur les câbles CC, au point d'entrée dans le bâtiment, afin de protéger le régulateur de tension photovoltaïque.

Ces dispositifs destinés aux systèmes 12/24 V CC présenteront idéalement une perte d'insertion minimale et un courant de fuite très faible.

7.7.5. CIRCUITS DE TÉLÉPHONIE, DE DONNÉES, DE COMMANDE ET DE SURVEILLANCE

Il y a lieu de protéger les circuits entre les bâtiments aux *deux* extrémités afin de protéger les deux équipements.

Il convient d'adapter le dispositif de protection à l'application ; par exemple, un parasurtenseur pour réseau de téléphonie RTCP n'est *pas* adapté aux E/S de télémétrie et vice versa.

Il y a lieu de pouvoir installer le parasurtenseur en groupe ou individuellement avec les kits de montage et d'interconnexion de terre appropriés.

Il convient que le parasurtenseur n'interfère pas avec le fonctionnement normal ou n'affecte pas les performances du service protégé.

Lorsque les circuits internes présentent une longueur importante ou que l'équipement interconnecté est d'une importance capitale ou particulièrement vulnérable, il y a lieu de prévoir une protection contre les surtensions aux deux extrémités de chaque circuit d'interconnexion.

Les dispositifs de protection pour le réseau RTCP et les lignes privées seront idéalement prévus pour 10 kA (8/20 μ s).

7.7.6. CIRCUITS COAXIAUX ET BLINDÉS

Il y a lieu de mettre à la terre uniquement en un seul point certains types de circuits coaxiaux et blindés, par exemple les réseaux locaux (LAN) et certains types de capteurs. L'utilisation d'un dispositif approprié de protection contre les surtensions transitoires fournira la liaison supplémentaire requise par ces directives tout en maintenant l'isolation du blindage.

7.8. MISE À LA TERRE

7.8.1. GÉNÉRALITÉS

La mise à la terre d'un système implique l'établissement d'une connexion avec la masse générale de la terre. Cette connexion présentera idéalement une résistance ne dépassant pas 10 ohms. Dans les installations typiques des aides à la navigation, il est souvent difficile d'atteindre cet idéal. Dans de telles conditions, la philosophie de protection générale doit consister à mettre en œuvre un site équipotentiel afin de minimiser les dommages causés par les différences de tension à l'intérieur du site.

Les électrodes de terre peuvent être installées selon différentes combinaisons de formes, y compris des piquets foncés en profondeur, des plaques, des bandes horizontales ou des conducteurs et des terminaisons en mer (voir la Figure 19). Le ou les types d'électrodes utilisés dépendent des conditions sur le terrain.





Figure 19 Différents types d'électrodes de terre

La résistance à la terre d'une électrode donnée dépend de la résistivité électrique du sol dans lequel elle est installée. La résistivité du sol peut être calculée au moyen de la méthode Wenner (voir l'ANNEXE C et l'ANNEXE D).

La longueur de l'électrode de terre nécessaire, en fonction de la section utilisée, peut être déterminée à l'aide de la formule suivante ou au moyen des logiciels fournis à titre gracieux par les fabricants :

7.8.1.1. Bandes horizontales de section rectangulaire

Équation 2 Longueur de l'électrode de terre - Bandes horizontales de section rectangulaire

$$R = \frac{\rho}{275L} \text{Log}_{10} \frac{200L^2}{wD}$$

7.8.1.2. Bandes horizontales de section circulaire

Équation 3 Longueur de l'électrode de terre - Bandes horizontales de section circulaire

$$R = \frac{\rho}{275L} \text{Log}_{10} \frac{100L^2}{\phi D}$$

7.8.1.3. Bandes verticales de section rectangulaire

Équation 4 Longueur de l'électrode de terre - Bandes verticales de section rectangulaire

$$R = \frac{\rho}{275L} \text{Log}_{10} \frac{800L^2}{wD}$$

7.8.1.4. Bandes verticales de section circulaire

Équation 5 Longueur de l'électrode de terre - Bandes verticales de section circulaire

$$R = \frac{\rho}{275L} \text{Log}_{10} \frac{400L^2}{ND}$$

où :

R est la résistance apparente de l'électrode de terre en ohms

ρ est la résistivité du sol en ohm centimètres

D est la profondeur de l'électrode en mètres

ϕ est le diamètre de l'électrode en centimètres

L est la longueur de l'électrode en mètres

w est la largeur de l'électrode en centimètres

N est le nombre d'électrodes

7.8.2. SUR SOL TERREUX

Chaque conducteur de descente disposera idéalement d'un réseau de terre associé. Il peut s'agir d'une seule électrode de terre ou d'un certain nombre d'électrodes reliées entre elles pour former un réseau unique.

La meilleure méthode de raccordement est le soudage aluminothermique (exothermique) qui ne se dessoude pas, ne se corrode pas et n'augmente pas la résistance (voir la Figure 20).

Il convient que la résistance totale du réseau de terre complet ne dépasse pas 10 ohms.



Figure 20 Soudage aluminothermique

7.8.3. SUR SOL ROCHEUX

Lorsqu'une structure est construite sur de la roche, il peut être impossible d'atteindre la valeur maximale de 10 ohms pour la résistance de la terre. Dans ce cas, aucune valeur maximale n'est indiquée et il y a lieu d'adopter la procédure suivante.

Il convient que chaque électrode de terre soit formée en insérant un piquet de terre de 2,4 m dans un trou de 75 mm de diamètre, carotté à une profondeur minimale de 2,4 m et rempli de ciment mélangé à un granulat carboné conducteur, par exemple de la marconite. La bentonite peut être utilisée comme substitut au mélange de ciment, mais il faudra veiller à ce qu'elle ne soit pas emportée hors du trou ou qu'elle ne sèche pas.

Dans les cas où il n'est pas possible d'obtenir une mise à la terre présentant une faible résistance, il importe de savoir que l'augmentation du potentiel local de la terre lors d'un événement de foudre peut effectivement être extrême. Si des dispositifs de mise à la terre appropriés ont été mis en place sur le site, ce seul phénomène peut ne pas causer de dommages significatifs à l'installation, mais des dommages extrêmes peuvent survenir aux interfaces et aux connexions câblées entre le site et les mises à la terre distantes (telles que le RTCP, l'alimentation électrique et les connexions de surveillance à distance). Par conséquent, il convient d'accorder une attention particulière à la protection de ces interfaces sur les sites où il n'est pas possible de réaliser des mises à la terre à faible résistance.

7.8.4. SUR FINE COUCHE DE SOL TERREUX



Lorsque la station est construite sur de la roche recouverte d'une fine couche de sol terreux, la mise à la terre peut être formée par l'enfouissement de bandes d'électrodes dans des tranchées. La tranchée présentera idéalement une profondeur d'au moins un mètre et il y a lieu d'installer le système en dessous de la ligne de gel et en dessous de la zone susceptible d'être sujette à des changements saisonniers.

7.8.5. ÉLECTRODES DE MISE À LA TERRE EN MER

En ce qui concerne les structures construites sur la roche, une électrode de mise à la terre en mer peut être utilisée comme alternative ou en complément du système de piquets de terre. L'électrode de terre comprend un maillage de 20 mm x 3 mm de rubans de cuivre d'au moins 1 m x 1 m, fixé à la roche sous la ligne d'eau de marée basse. La fixation est délicate car l'électrode se trouve dans une zone soumise à l'effet des vagues et donc à des conditions sévères.

8. INSPECTION ET MAINTENANCE PÉRIODIQUES

8.1. INSPECTION

Il convient que tous les systèmes de protection contre la foudre soient inspectés visuellement par une personne compétente pendant l'installation, après leur achèvement et après toute modification ou extension, afin de vérifier qu'ils sont conformes aux recommandations de la présente directive et à la norme CEI 62305 ou à la norme nationale ou internationale applicable. Il y a lieu d'effectuer des inspections visuelles de l'installation et des parasurtenseurs à intervalles fixes ne dépassant pas 12 mois.

Il convient en outre que l'état mécanique de tous les conducteurs, liaisons, jonctions, terminaisons et électrodes de terre (y compris les électrodes de référence) soit vérifié et que les observations soient consignées. Si, pour une raison quelconque, telle que des travaux sur le site, il n'est temporairement pas possible d'inspecter certaines parties de l'installation, il y a également lieu de le consigner.

Lors de l'inspection périodique du système de protection contre la foudre, il convient de contrôler la liaison de tout réseau récemment ajouté pour s'assurer qu'elle est conforme à la présente directive.

8.2. TESTS

Ne déconnectez qu'une seule électrode de terre à la fois pour le test. S'il n'existe qu'une seule électrode de terre, l'installation *doit* être déconnectée de toutes les sources d'alimentation principales (y compris les générateurs) avant que l'électrode de terre ne soit déconnectée pour le test. Il ne suffit pas de couper la liaison à la terre du réseau pour ce test, car il existe probablement d'autres connexions entre le système de protection contre la foudre et la terre du réseau.

8.2.1. GÉNÉRALITÉS

Une fois l'installation achevée ou après toute modification apportée à cette dernière, il y a lieu de réaliser les mesurages et/ou les vérifications suivantes et de consigner les résultats dans un registre du système de protection contre la foudre :

- 1 La résistance à la terre du réseau de terminaisons de terre et de chaque électrode de terre.
- 2 Les résultats d'un contrôle visuel de tous les conducteurs, liaisons et jonctions ou leur continuité électrique mesurée.

Il convient de reproduire les tests à intervalles fixes, de préférence ne dépassant pas 12 mois.

8.2.2. TEST DE LA RÉSISTANCE DES ÉLECTRODES DE TERRE

Il y a lieu de mesurer la résistance de chaque électrode de terre, cette électrode étant déconnectée du reste du

système de protection contre la foudre, et de consigner les résultats. La méthode de mesure privilégiée est illustrée dans la Figure 21. Il s'agit de faire circuler un courant dont les caractéristiques sont connues entre l'électrode de terre (E) testée et l'électrode de test (TE1), puis de mesurer la tension entre E et une deuxième électrode de test (TE2). Ces valeurs permettent de calculer la résistance de l'électrode de terre. Il existe des instruments de mesure qui combinent les fonctions susmentionnées et indiquent directement la résistance de l'électrode de terre. Il est également possible d'utiliser la méthode Wenner (voir l'ANNEXE C et l'ANNEXE D).

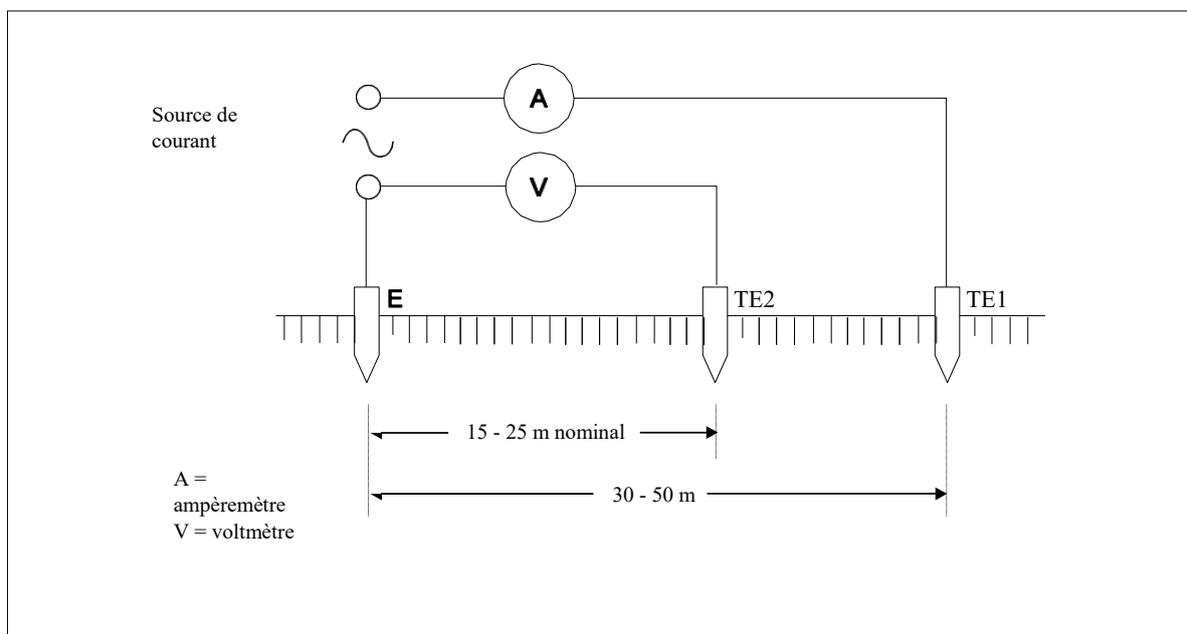


Figure 21 Méthode privilégiée de mesure de la résistance de l'électrode de terre

Il convient que l'électrode de test d'intensité (TE1) soit insérée dans le sol à une distance de 30 à 50 m de l'électrode de terre testée du système de protection contre la foudre. Initialement, il y a lieu d'insérer l'électrode de test de tension (TE2) à mi-chemin environ entre E et TE1. Il convient de mesurer et de consigner la résistance de l'électrode de terre. Il y a lieu d'effectuer deux autres relevés et de les consigner avec TE2 rapproché de 7 m plus éloigné de 7 m par rapport à E. Si les trois relevés correspondent à 5 % près, il convient de consigner la position de TE1, la position initiale de TE2 et la valeur initiale obtenue pour les comparer avec les tests ultérieurs. Si les trois résultats ne concordent pas, il convient d'augmenter la distance entre E et TE1 puis de reproduire les trois tests. Il y a lieu de répéter ce processus jusqu'à ce que les trois valeurs concordent avec la précision requise.

Si la résistance à la terre du système de protection contre la foudre dépasse 10 ohms, sauf sur la roche (voir le paragraphe 8.2.3) ou si la résistance d'une électrode individuelle dépasse 10 ohms multipliés par le nombre total d'électrodes, il convient de réduire la valeur. Si la résistance est inférieure à 10 ohms mais nettement supérieure à la valeur précédente, il convient d'en rechercher la cause et de prendre les mesures correctives nécessaires.

8.2.3. TEST DES ÉLECTRODES DE TERRE DANS LA ROCHE

Dans la mesure du possible, il y a lieu de prévoir deux électrodes de test permanentes, placées conformément à la Figure 21. Il convient de mesurer les valeurs de résistance des électrodes de terre et de consigner ces mesures en utilisant ces électrodes de test.

Lorsque cela n'est pas possible (par exemple, sur une station rocheuse), il y a lieu de déconnecter chaque électrode de terre à tour de rôle et de mesurer et consigner la résistance entre l'électrode isolée et le reste du système (voir la Note 1).

- NOTE 1 Il est souligné qu'avant de déconnecter une terre du système de protection contre la foudre, il convient de la tester pour s'assurer qu'elle n'est pas « sous tension » à l'aide d'un dispositif sensible permettant de contrôler la présence de tension.



- NOTE 2 Il peut être avantageux de choisir un intervalle légèrement inférieur à 12 mois afin de varier la saison au cours de laquelle les tests sont effectués.
- NOTE 3 La présence de conducteurs enterrés, par exemple des câbles souterrains d'alimentation et de téléphonie, des conduites de gaz et d'eau, des tapis au sol de radiobalises, etc., peut considérablement influencer les résultats des mesures de la résistance des électrodes de terre. Il y a lieu de tout mettre en œuvre pour localiser ces réseaux et, dans la mesure du possible, de choisir un site de mesure éloigné de ceux-ci.

8.3. MAINTENANCE DES PARASURTENSEURS

En raison des nombreux types de défaillances pouvant être rencontrés par les dispositifs de protection sans pour autant provoquer d'interruption à long terme, la plupart des fabricants conçoivent des dispositifs à varistance à oxyde métallique (MOV) dotés d'indicateurs de défaillance sur la face avant permettant de déterminer lequel d'entre eux est hors service et lequel est encore opérationnel. La maintenance se limitera à une inspection visuelle périodique et à un contrôle des connexions de mise à la terre pour s'assurer qu'elles ne se sont pas détériorées et que toutes les autres liaisons sont sûres.

Des mesures de résistance « en circuit » peuvent être effectuées sur d'autres parasurtenseurs pour établir l'intégrité de la protection contre les surtensions, mais il n'est pas nécessaire de procéder à des vérifications trop fréquentes car les défauts se révèlent souvent d'eux-mêmes. Il existe un risque réel que les déconnexions et reconnexions de routine entraînent des erreurs avec le croisement des fils en raison du grand nombre de parasurtenseurs pouvant être présents dans une installation.

8.4. ENREGISTREMENTS

Il convient de conserver les enregistrements suivants sur site ou de les confier à la personne responsable de la maintenance de l'installation :

- Dessins à l'échelle montrant la nature, les dimensions, les matériaux et l'emplacement de tous les éléments constitutifs du système de protection contre la foudre
- Nature du sol et éventuelles dispositions particulières de mise à la terre
- Type et emplacement des électrodes de terre, y compris des électrodes de référence
- Conditions de test et résultats obtenus (voir le chapitre Tests)
- Toute modification, tout ajout ou toute réparation du système
- Nom de la personne responsable de l'installation ou de la maintenance de celle-ci
- Il y a lieu d'apposer une étiquette à l'origine de l'installation électrique, libellée comme suit :
« Cette installation est équipée d'un système de protection contre la foudre. Il convient que la liaison avec les autres réseaux et la liaison équipotentielle principale soient maintenues en conséquence. »

8.5. MAINTENANCE

Les inspections et tests périodiques recommandés ci-dessus permettront de déterminer la maintenance nécessaire, le cas échéant. Il y a lieu d'accorder une attention particulière aux éléments suivants :

- Mise à la terre
- Traces de corrosion ou conditions susceptibles de conduire à la corrosion
- Modifications et ajouts à la structure susceptibles d'affecter le système de protection contre la foudre (par exemple, changements dans la destination du bâtiment, installation d'antennes radio, etc.)



9. DÉFINITIONS

Les définitions des termes utilisés dans la présente Directive sont issues du *Dictionnaire international des aides à la navigation maritime* (Dictionnaire IALA-AISM) à l'adresse <http://www.iala-aism.org/wiki/dictionary> et ont été vérifiées au moment de l'impression. En cas de conflit, il convient de considérer le Dictionnaire de l'IALA-AISM comme la source faisant autorité pour les définitions employées dans les documents de l'IALA-AISM.

10. ABRÉVIATIONS

A	ampère(s)
SIA	Système d'identification automatique
AMSA	Autorité australienne de sécurité maritime (<i>Australian Maritime Safety Authority</i>)
AtoN	Aide(s) à la Navigation (<i>Aid(s) to Navigation</i>)
dB	déciBel
CC	Courant continu
E	Électrode de terre
GRP	Plastique à renfort de verre (<i>Glass Reinforced Plastic</i>)
IALA-AISM	Association internationale de signalisation maritime (<i>International Association of Marine</i>
CEI	Commission électrotechnique internationale
IT	Technologies de l'information (<i>Information Technology</i>)
ITN	Institut nucléaire et technologique portugais (<i>Instituto Technologico e Nuclear</i>)
kA	kiloampère(s)
kV	kilovolt
LANBY	Bouée-phare (<i>Large Automatic Navigation Buoy</i>)
LPL	Niveau de protection contre la foudre (<i>Lightning Protection Level</i>)
m	mètre(s)
m ²	mètre(s) carré(s)
MICC	Cuivre isolé minéral (<i>Mineral-Insulated Copper-Clad, câble</i>)
mm	millimètre(s)
MOV	Varistance à oxyde métallique (<i>Metal Oxide Varistor</i>)
NBR	Norme brésilienne (<i>Norma Brasileira</i>)
NP	Norme portugaise (<i>Norma Portuguesa</i>)
RTCP	Réseau téléphonique commuté public
PV	Photovoltaïque
SPD	Parasurtenseur(s) (<i>Surge Protective Device(s)</i>)
TE	Électrode de test (<i>Test Electrode</i>)
ASI	Alimentation sans interruption
USCG	Garde côtière des États-Unis (<i>United States</i>
V	volt(s)
VHF	Très haute fréquence (<i>Very High</i>
μH	microhenry



μs microseconde(s)
 Ω ohm(s)

11. RÉFÉRENCES

Deux publications de la British Standards Institution sont particulièrement pertinentes dans ce contexte et des références y seront faites ci-après dans la présente directive. Il s'agit des publications suivantes :

[1] Norme britannique 6651 : 1992, « *The protection of structures against lightning* » (protection des structures contre la foudre)

[2] Code de bonnes pratiques des normes britanniques BS7430 : 1991, « *Earthing* » (mise à la terre)

Autres documents étudiés :

[3] General Lighthouse Authorities ; Rapport du service développement, « *Guidelines for the Protection of Lighthouses and Aids to Navigation against Damage from Lightning* » (directives pour la protection des phares et des aides à la navigation contre les dommages causés par la foudre), N° 20/RPD/1995, Trinity House Lighthouse Service, 1995

[4] « *Lightning Protection* » (protection contre la foudre), Australian Maritime Safety Authority (AMSA) : AS-1768-1991

[5] « *Lightning Protection* » (protection contre la foudre), administration côtière norvégienne Kystverket, 1997

[6] « *Lightning Protection for Radio Transmitter Stations* » (protection contre la foudre pour les stations de transmission radio), Nautel Ltd., 1985

[7] « *Lightning Protection Systems* » (systèmes de protection contre la foudre), USCG, 1995

Autres documents pertinents :

[8] CEI 61024 « Protection des structures contre la foudre »

[9] CEI 61312 « Protection contre l'impulsion électromagnétique

générée par la foudre – Systèmes informatiques »

[10] NP 4426, décembre 2003, norme portugaise « *Proteção contra descargas atmosféricas, Sistemas com dispositivo de ionização não radioativo* » (protection contre la foudre, systèmes de protection contre la foudre à dispositif d'amorçage)

[11] NFC 17-102, 1995, norme française « Système de protection contre la foudre par paratonnerre à dispositif d'amorçage »

[12] UNE 21186, 1986, norme espagnole « *Protección contra el rayo: Pararrayos con dispositivo de cebado* » (protection contre la foudre : systèmes de protection contre la foudre à dispositif d'amorçage)

[13] NBR 7117, décembre 1981, norme brésilienne, « *Medição Da Resistividade Do Solo Pelo Método Dos Quatro Pontos (Wenner)* » (mesure de la résistivité du sol par la méthode des quatre points (méthode Wenner))

[14] CEI 61643-1, mars 2005, « Parafoudres basse tension – Partie 1 : Parafoudres connectés aux réseaux de distribution basse tension – Exigences et essais »

[15] CEI 62305-1 éd. 2.0, décembre 2010, « Protection contre la foudre – Partie 1 : principes généraux »

[16] CEI 62305-2 éd. 2, décembre 2010, « Protection contre la foudre – Partie 2 : évaluation des risques »

[17] CEI 62305-3 éd. 2.0, décembre 2010, « Protection contre la foudre – Partie 3 : dommages physiques sur les



structures et risques humains »

- [18] CEI 62305-4 éd. 2.0, décembre 2010, « Protection contre la foudre – Partie 4 : réseaux de puissance et de communication dans les structures »
- [19] Bulletin IALA-AISM 2010/4, « *Necessity of the surge protector in the modern electronic world* » (nécessité du parasurtenseur dans le monde électronique moderne)



ANNEXE A EXEMPLE

A.1 CONTEXTE

La période de demi-vie du radium-226 est de 1 600 ans et celle de l'américium-241 est de 432,6 ans.

La demi-vie est le temps nécessaire pour que la radioactivité diminue de moitié. Cela signifie que pour chaque demi-vie qui s'écoule, l'activité est réduite de moitié jusqu'à ce qu'elle atteigne une valeur négligeable qui ne permet plus de distinguer son rayonnement du rayonnement de fond. Dans la plupart des cas, on considère que ce niveau est atteint après 10 demi-vies

A.2 RISQUES ET IMPACT

Les risques d'exposition associés aux paratonnerres radioactifs à l'américium sont relativement modérés. Cependant, le risque de contamination radioactive de l'environnement pourrait être élevé.

Les organes humains les plus susceptibles d'être affectés par la radioactivité sont les os, les reins et les poumons.

Dans le cas des paratonnerres au radium, les risques d'exposition et de contamination sont plus élevés à des distances inférieures à un mètre.

Étant donné que les paratonnerres sont situés au sommet des structures, le risque d'exposition au rayonnement est normalement faible, puisque la dose de rayonnement reçue par un individu est inversement proportionnelle au carré de la distance par rapport à la source. Toutefois, lorsque des travaux sont réalisés à proximité de la source de rayonnement et pendant des périodes prolongées, le niveau d'exposition peut être significatif et il y a lieu de l'éviter.

Les effets biologiques de la radioactivité dépendent principalement des éléments suivants :

- Type de rayonnement
- Demi-vie du radionucléide
- Dose absorbée
- Organes où elle s'accumule.

Dans le corps humain, ces effets se manifestent au niveau somatique et génétique.

Sur le plan somatique, un individu exposé aux rayonnements peut présenter des symptômes physiques, tandis que les effets des rayonnements sur le plan génétique, impossibles à éviter, ne se manifestent que dans la descendance de la personne exposée.

A.3 MESURES PRISES

Les paratonnerres radioactifs utilisés jusque dans les années 80 ne répondent plus aux normes actuelles et constituent un danger potentiel qui doit être éliminé.

Compte tenu du danger de la radioactivité et de la possibilité que ces dispositifs ne soient plus efficaces en raison du vieillissement ou de la détérioration du matériau, il est recommandé depuis 1991 de ne pas utiliser ces types de paratonnerres et il convient de les retirer.

La plupart des pays devraient idéalement disposer d'une organisation chargée de stocker et de traiter les déchets radioactifs et de fournir les instructions nécessaires à la sécurité de manipulation.



Après avoir été retirés, ils sont considérés comme des déchets radioactifs et il y a lieu de les traiter comme tels.

L'Institut nucléaire et technologique portugais (ITN) conseille de suivre les règles ci-dessous lors de la manipulation de paratonnerres radioactifs :

- Ne pas endommager la tige du paratonnerre.
- Porter des gants.
- Éviter tout contact avec la pointe du paratonnerre ou les éléments en porcelaine contenant les sources radioactives.
- Couper le poteau légèrement en dessous des bras ou de l'anneau métallique.
- Envelopper la pointe du paratonnerre dans une feuille de plomb.
- Emballer le paratonnerre dans une boîte en bois.
- Contacter l'organisme agréé pour le récupérer.



ANNEXE B ANALYSE DES RISQUES (EXEMPLE)

Date : 12/11/07

Phare Vila R.S.António

Analyse des risques (protection contre la foudre)

DONNÉES D'ENTRÉE		Caractérisation de la structure			
Indice kéraunique local	9	C1 ; Coefficient			
Coefficient C1	0,75	Structure située dans une zone comprenant d'autres structures ou arbres de même hauteur ou de hauteur supérieure		0,5	
Coefficient C2	1	Structure entourée de structures de taille inférieure		0,75	
Coefficient C3	2	Structure isolée		1	
Coefficient C4	3	Structure isolée située sur une colline ou un promontoire		2	
Coefficient C5	5	C2 ; Coefficient structurel			
Hauteur de la tour	46	Toit	Métallique	Commun	Inflammable
Résultat des calculs		Métal	0,5	1	2
Ng densité des impacts par km ² , année	0,78453981	Commun	1	1	2,5
Nd fréquence attendue des impacts sur la structure	0,03872504	Inflammable	2	25	3
Nc fréquence acceptable des impacts sur la structure	0,00018333	C3 ; Contenu de la structure			
E efficacité de la protection à installer ≥	0,99526577	Sans valeur ou ininflammable		0,5	
		Valeur commune ou normalement inflammable		2	
		Valeur élevée ou particulièrement inflammable		5	
		Valeur exceptionnelle, irremplaçable ou hautement inflammable, explosif		10	
		C4 ; Occupation de la structure			
		Non occupée		0,5	
		Normalement occupée		3	
		Difficulté d'évacuation ou risque de		7	
		C5 ; Conséquences de l'impact			
		Pas de nécessité de continuité de service et léger effet sur le quartier		1	
		Nécessité de continuité de service et léger effet sur le quartier		5	
		Effet sur le quartier		10	
		Tableau B.10			
		E	Niveau de protection correspondant	I (kA) Crête prévue maximum	D (m) Distance par rapport à l'origine
		Efficacité calculée			
		E > 0,999	Niveau I++	(a)	(a)
		0,99 < E ≤ 0,999	Niveau I+	(b)	(b)
		0,98 < E ≤ 0,999	Niveau I	3	20
		0,95 < E ≤ 0,98	Niveau II	5	30
		0,90 < E ≤ 0,95	Niveau III	10	45
		0,90 < E ≤ 0,80	Niveau IV	16	60
		E < 0		Protection inutile	
		Sélection du niveau de protection			
		si Nd ≤ Nc, la protection est inutile			
		si Nd > Nc, vous devez installer le système de protection conforme à l'efficacité (E) et au niveau de protection correspondant selon le tableau B.10			
		Mesures complémentaires :			
		(a) structure protégée par PDI avec diminution du rayon de protection			
		(b) structure protégée par PDI			
		Résultat de l'analyse des risques :			

La feuille de calcul présentée ci-dessus et celle qui figure à l'ANNEXE C sont disponibles sous la forme d'un unique classeur Excel auprès de l'IALA-AISM. (contact@iala-aism.org).

ANNEXE C MÉTHODE WENNER POUR LA MESURE DE LA RÉSISTANCE DES ÉLECTRODES DE TERRE

Dans la pratique, le sol n'est généralement pas homogène et sa résistivité varie en fonction de la profondeur.

La mesure de la résistivité du sol et la longueur par conséquent nécessaire de l'électrode de terre peuvent être déterminées de la manière suivante.

Quatre électrodes espacées à égale distance sont foncées dans le sol à une profondeur ne dépassant pas 5 % de l'écart entre deux électrodes. Une source de courant est reliée aux deux électrodes extérieures (C1 et C2), et le courant circulant dans le sol qui en résulte entraîne la création d'une différence de potentiel. Cette tension est mesurée entre les deux électrodes centrales (P1 et P2), voir la Figure 22. À partir des valeurs de tension et d'intensité, une valeur « Rt » peut être calculée (la plupart des appareils de mesure de la résistivité donnent une lecture directe de Rt).

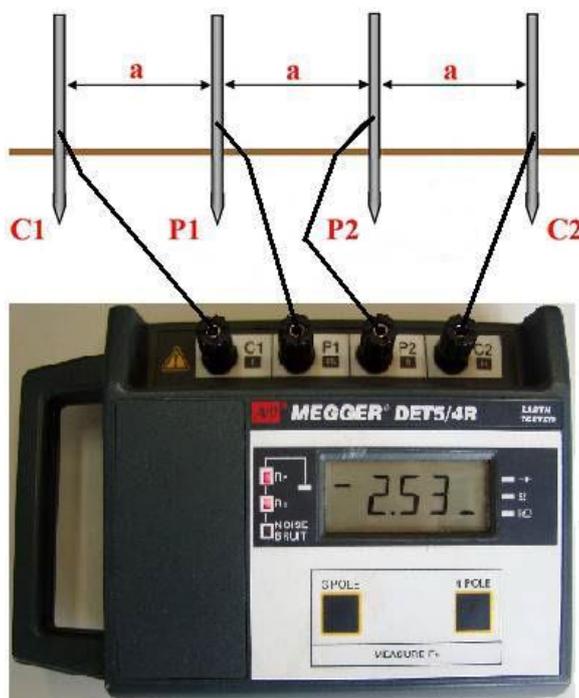


Figure 22 Schéma de raccordement pour la méthode Wenner

La résistivité du sol peut être calculée à l'aide de la formule simplifiée² suivante :

Équation 6 Résistivité du sol

$$\rho = 2\pi \cdot a \cdot R_t$$

où :

ρ est la résistivité du sol en ohm mètres (Ωm)

a est la distance entre les électrodes

R_t est la résistance (en ohms) mesurée entre les électrodes

Cette mesure donne la résistivité du sol à une profondeur égale à 75 % de la distance entre les électrodes.

² Pour la formule complète, voir la norme brésilienne NBR 7117.

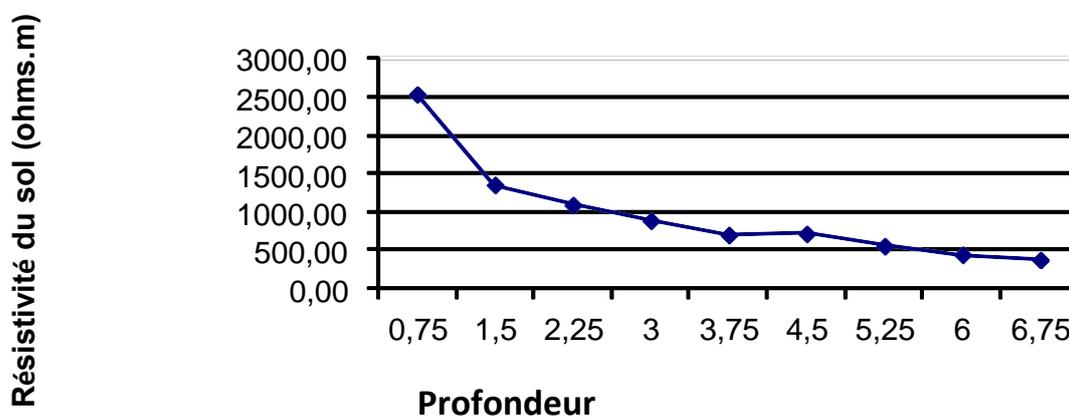


Si l'on fait varier la distance entre les électrodes, que l'on répète la mesure et que l'on enregistre les résultats, on obtient la résistance du sol à différentes profondeurs.

ANNEXE D FICHE DE CALCUL POUR LA DÉTERMINATION DE LA RÉSISTIVITÉ DU SOL (EXEMPLE)

Lieu	Phare de Vila real de Santo António		Date :	12/11/2007
Analyse de la résistivité du sol par la méthode Wenner				
	Profondeur des électrodes de test	0,3	Mètres	
Profondeur estimée	Distance entre les électrodes (mètres)	Valeur mesurée (Ω)	Résistivité du sol ($\Omega.m$)	
			Formule simplifiée	Formule complète
0,75	1	335	2230,54	2538,80
1,5	2	104	1306,91	1356,61
2,25	3	57	1074,43	1092,94
3	4	35	879,65	888,23
3,75	5	22,2	697,44	701,80
4,5	6	18,9		715,62
5,25	7	12,6	712,51	555,95
6	8	8,8	554,18	443,42
6,75	9	6,6	442,34	373,95

Résistivité du sol



Profils de résistivité

Ascendant : Surface argileuse et fond humide et rocheux

Descendant : Surface très sèche sur une couche sableuse

Plan : Sol rocheux sec

Obs. :

Il s'agit d'une zone de dune où la surface est sèche et le sable lâche