

**ETUDE TECHNIQUE Foudre
COGENERATION PAPETERIES PALM
DBI**

Egis Industries Agence de Lyon
Pôle Industrie – Département CEM/Foudre
170 avenue Thiers – 69455 Lyon Cedex 06 – France
Tél +33 (0) 4 37 72 21 00 - Fax +33 (0) 4 37 72 21 05

Egis Industries
4 rue Dolorès Ibaruri - TSA 50012 - 93188 Montreuil Cedex – France
Tél + 33 (0) 1 73 13 19 00 - Fax + 33 (0) 1 73 13 19 05 – contact.egis-industries@egis.fr – www.egis.fr
S.A.S au capital de 500.000 € - SIRET 652 030 677 00221 - SIREN 652 030 677 - R.C.S. Bobigny
N° identification intracommunautaire FR 34 652 030 677 - Code APE 7112 B



<p align="center">ETUDE TECHNIQUE Foudre COGENERATION PAPETERIES PALM DBI</p>
--

Référence document
DCE EIPI TTZN FDE NTE 002
Affaire : ENMA017

Résumé : Cette note constitue l'Etude Technique pour la protection contre la foudre de la future Cogénération implantée sur le site des PAPETERIES PALM par DBI.

Mots clés : Foudre, paratonnerre, parafoudre.

Etablissement	Vérification	Approbation	Rév
			A

TABLE DES MODIFICATIONS

Rév	Date	Objet
A	Voir Visas	Edition originale

SOMMAIRE

1.	OBJET DE L'ÉTUDE	6
2.	DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE	6
2.1	Textes réglementaires	6
2.2	Normalisation pour la protection contre la foudre	6
2.3	Données d'entrée	7
3.	METHODOLOGIE	8
4.	RAPPEL DES CONCLUSIONS DE L'ARF	9
4.1	Analyse probabiliste	9
4.2	Analyse déterministe	9
5.	GENERALITES DE LA PROTECTION CONTRE LA Foudre	10
6.	TRAVAUX A REALISER	10
6.1	Installation Extérieure de Protection contre la Foudre (IEPF)	10
6.1.1	<i>Description de la protection existante</i>	10
6.1.2	<i>IEPF à mettre en place</i>	10
6.1.3	<i>Respect de la distance de séparation vis-à-vis du SPF</i>	12
6.1.4	<i>Mesures de protection contre les risques de tensions de contact et de pas liées à la foudre</i>	12
6.1.5	<i>Protection des canalisations</i>	13
6.2	Installation Intérieure de Protection contre la Foudre (IIPF)	14
6.2.1	<i>Protection des liaisons courants forts</i>	14
6.2.2	<i>Protection des liaisons courants faibles</i>	15
6.3	Equipements Important pour la Sécurité (EIS)	15
6.4	Moyen d'enregistrement des impacts foudre	15
7.	BILAN DES TRAVAUX A REALISER	16
8.	CONCLUSION	16
9.	ANNEXE 1 : PRESCRIPTIONS PARTICULIERES Foudre	17
9.1	Installation Extérieure de Protection contre la Foudre (IEPF)	17
9.1.1	<i>Constitution d'une IEPF</i>	17
9.1.2	<i>Protection par système actif (PDA)</i>	19
9.1.3	<i>Protection par système passif</i>	20
9.1.4	<i>Matériaux et sections</i>	32
9.1.5	<i>Equipotentialités</i>	34
9.1.6	<i>Mesures de protection contre les tensions de pas</i>	34
9.1.7	<i>Mesures de protection contre les tensions de contact</i>	35
9.2	Installation Intérieure de Protection contre la Foudre (IIPF)	36
9.2.1	<i>Présentation du concept de zones de protection foudre issu de la norme NF EN 62305-4</i>	36
9.2.2	<i>Réduction des effets du champ magnétique</i>	37
9.2.3	<i>Réseaux de masse</i>	40
9.2.4	<i>Interfaces entre ZPF</i>	40
9.2.5	<i>Installation de parafoudres courants forts</i>	42
9.2.6	<i>Protection des liaisons courants faibles</i>	44
9.2.7	<i>Matériels, matériaux et sections</i>	47
10.	ANNEXE 2 : DISTANCE DE SEPARATION	49

ACRONYMES

ARF	Analyse du Risque Foudre
ATEX	ATmosphère Explosive
BT	Basse Tension
CEM	Compatibilité ElectroMagnétique
CFA	Courants Faibles
CFO	Courants Forts
EDD	Etude De Dangers
EIS / EIPS	Equipement Important pour la Sécurité/Sûreté
ET	Etude Technique
HT	Haute Tension
ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
IEPF	Installation extérieure de protection contre la foudre
IIPF	Installation intérieure de protection contre la foudre
LIE	Limite Inférieure d'Explosivité
LSE	Limite Supérieure d'Explosivité
MALT	Mise à la terre
PDA	Paratonnerre à Dispositif d'Amorçage
SPF	Système de Protection contre la Foudre
ZPF	Zone de Protection Foudre

DEFINITIONS

Parafoudre : Dispositif destiné à limiter les surtensions transitoires et à écouler les courants de foudre.

Paratonnerre : Dispositif destiné à protéger les bâtiments des effets de la foudre.

1. OBJET DE L'ÉTUDE

Ce document constitue l'étude technique de protection contre la foudre de la future Cogénération implantée sur les PAPETERIES PALM par DBI.

Il est basé sur l'Analyse du Risque Foudre référencée DCE EIPI TTZN FDE NTE 001.

L'installateur doit impérativement se reporter aux prescriptions particulières (voir annexe 1) et à la description des travaux définis dans ce document pour la mise en place des protections dans les détails et se conformer aux documents de référence (voir §2).

2. DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

2.1 Textes réglementaires

- Arrêté du 4 octobre 2010 modifié relatif à la prévention des risques accidentels au sein des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation – section III : dispositions relatives à la protection contre la foudre.
- Arrêté du 15 janvier 2008 relatif à la protection contre la foudre de certaines installations classées (abrogé par l'arrêté du 19 juillet 2011).
- Circulaire du 24 avril 2008 relative à l'arrêté du 15 janvier 2008 relatif à la protection contre la foudre de certaines installations classées.

2.2 Normalisation pour la protection contre la foudre

Les textes de référence concernant la protection des installations contre la foudre sont :

- Norme NF EN 62305-1 : Protection contre la foudre - Partie 1 : Principes généraux (Juin 2006).
- Norme NF EN 62305-2 : Protection contre la foudre - Partie 2 : Evaluation des risques (Novembre 2006).
- Norme NF EN 62305-3 : Protection contre la foudre - Partie 3 : Dommages physiques sur les structures et risques humains (Décembre 2006).
- Norme NF EN 62305-4 : Protection contre la foudre - Partie 4 : Réseaux de puissance et de communication dans les structures (Décembre 2006).
- Norme NF EN 61643-11 : Dispositifs de protection contre les surtensions connectés aux réseaux de distribution basse tension : Partie 1 : Prescriptions de fonctionnement et méthodes d'essais.
- Norme NF EN 61643-12 : Parafoudres basse tension – Partie 12 : Parafoudres connectés aux réseaux de distribution basse tension – Principe de choix et d'application (Février 2002).
- Norme NF EN 61643-21 : Parafoudres basse tension – Partie 21 : Parafoudres connectés aux réseaux de signaux et de télécommunications – Prescriptions de fonctionnement et méthodes d'essais (Septembre 2000).
- Norme NF EN 61643-22 : Parafoudres basse tension – Partie 22 : Parafoudres connectés aux réseaux de signaux et de télécommunications – Principe de choix et application (Novembre 2004).

- Normes NF EN 50164 : Relatives aux composants utilisés dans les systèmes de protection contre la foudre (SPF) (partie 1 à 3).
- Normes NF EN 62561 : Relatives aux composants utilisés dans les systèmes de protection contre la foudre (SPF) (partie 4 à 7).
- Norme NF C 15-100 : Installations électriques basse tension (Compil Juin 2015).
- Norme NF C 17-102 : Protection contre la foudre - Protection des structures et des zones ouvertes contre la foudre par paratonnerre à dispositif d'amorçage.
- Guide UTE C 15-443, § 7 et 8 : Protection des installations électriques basse tension contre les surtensions d'origine atmosphérique ou dues à des manœuvres - Choix et installations des parafoudres (Août 2004).
- Guide UTE C 17-100-2 : Protection contre la foudre - Partie 2 : évaluation des risques (Janvier 2005).
- Guide UTE C 17-106 : Guide pratique – compteurs de coup de foudre.
- Guide INERIS DCE-10-109423-00628B : Protection contre la foudre des installations classées pour la protection de l'environnement - Appréciation des documents exigibles en application de l'arrêté foudre du 15 janvier 2008.
- Guide INERIS DRA-11-111777-04213A : Protection contre la foudre des installations classées pour la protection de l'environnement – formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs.
- Rapport n° 2013/01 du GESIP : Protection des Installations Industrielles contre les effets de la foudre (Juillet 2013).
- Document INERIS : Prise en compte du risque foudre en atmosphères explosibles.
- Rapport de l'INERIS : Evaluation de l'efficacité des PDA.

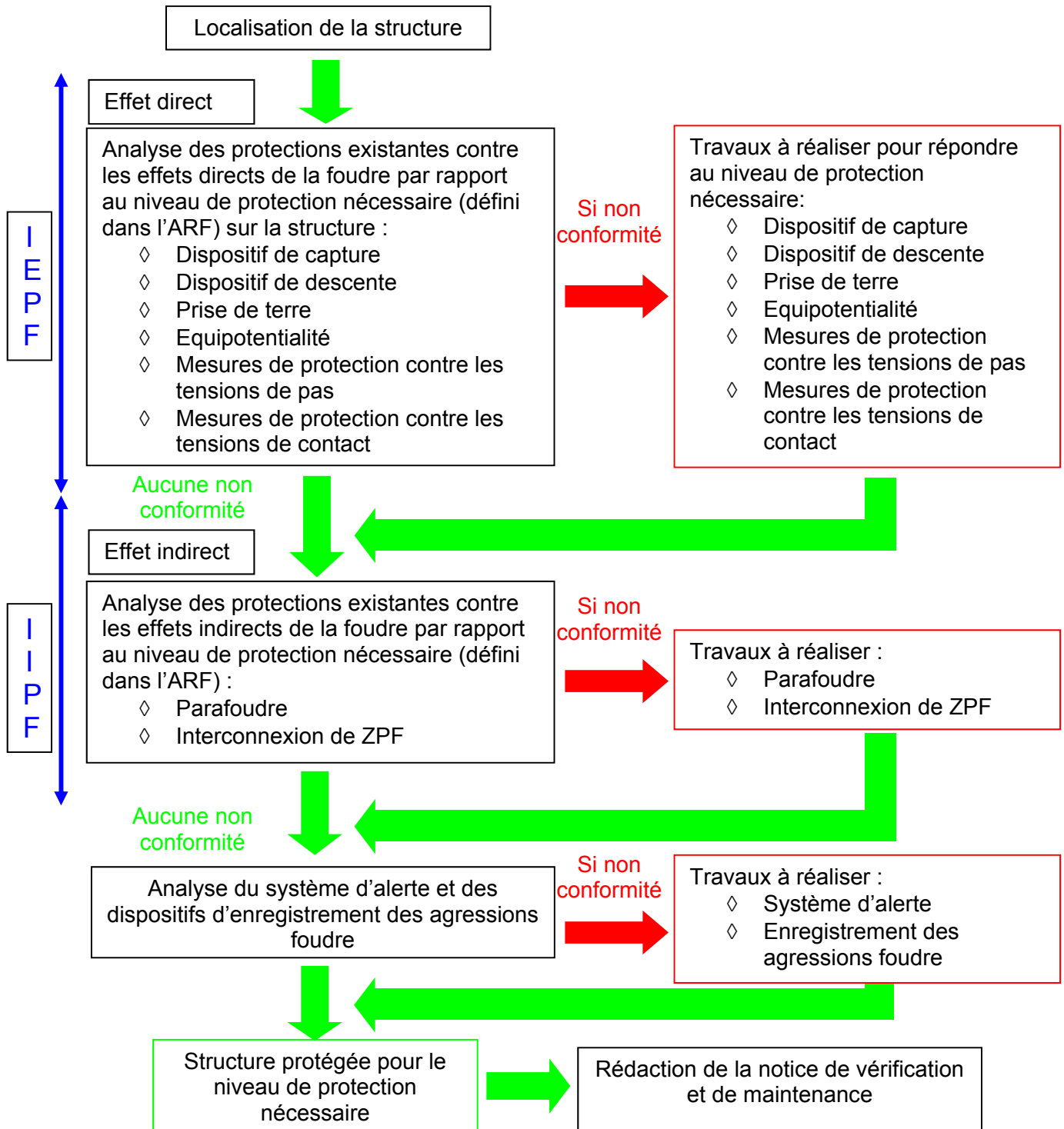
2.3 Données d'entrée

Libellé du document	Référence	Ind	Date
Analyse du risque Foudre	DCE EIPI TTZN FDE NTE 001	A	20/06/2016
Etude foudre ALAIN MACE	-	-	-
Analyse du Risque Foudre APAVE	09256162_01_01	-	08/02/2010
Etude Technique Foudre :			
◆ Vérification et Cahier des charges	11355861	-	08/06/2012
◆ Notice de vérification et de maintenance			

Tableau 1 : Liste des données d'entrée

3. METHODOLOGIE

Pour chacune des structures nécessitant une protection contre la foudre, la méthodologie ci-dessous est appliquée.



IEPF = Installation Extérieure de Protection Foudre
IIPF = Installation Intérieure de Protection Foudre

4. RAPPEL DES CONCLUSIONS DE L'ARF

4.1 Analyse probabiliste

Les niveaux de protection nécessaires et les préconisations pour les structures étudiées sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

Structure	Protection effets directs	Protection effets indirects
Cogénération	Niveau IV	<p>Mise en place de protections de Niveau IV à l'entrée des lignes extérieures connectées à la structure :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Liaisons HTA et CFA avec le poste BM6 - Liaisons BT et CFA avec le poste SPACIO 10 - Liaisons CFA avec le bâtiment Usine - Liaisons CFA avec le poste de livraison Gaz - Liaisons CFA avec le bâtiment Chaudières 1 & 2 - Liaisons téléphoniques avec le bâtiment Administratif

Tableau 2 : Préconisations de protection pour la réduction du risque R1 en application de la norme NF EN 62305-2

4.2 Analyse déterministe

Certaines installations font l'objet de prescriptions déterministes ou de moyens de prévention :

- Canalisations extérieures,
- Automate de sécurité incendie.

5. GENERALITES DE LA PROTECTION CONTRE LA Foudre

L'installateur doit impérativement se reporter à la description des travaux définis dans ce document pour la mise en place des protections dans les détails et se conformer aux documents de référence (voir paragraphe 2) et aux prescriptions générales données en annexe 1.

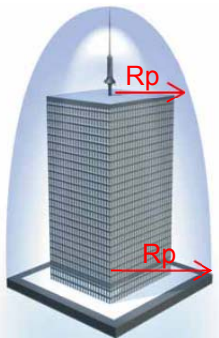
6. TRAVAUX A REALISER

6.1 Installation Extérieure de Protection contre la Foudre (IEPF)

6.1.1 Description de la protection existante

Le PDA existant (voir descriptif dans rapport APAVE n° 09256162_01_01) implanté « au sommet de la cheminée de la chaudière située en bout du bâtiment production à côté de la façade Est » sera déposé lors des travaux. Le PDA est placé à 24 m au-dessus du sol.

Les rayons de protection présumés (selon la norme NF-EN 17-102) du PDA de marque HELITA type Pulsar 25 sont indiqués dans le tableau suivant.



$\Delta_L=25\mu s$	Niv. I	Niv. II	Niv. III	Niv. IV
Sommet de la cheminée h=22m	Rp= 10,2m	Rp= 11,8m	Rp= 13,8m	Rp= 15,6m
Sommet de la toiture de la Cogénération h=9m	Rp= 26,8m	Rp= 31,7m	Rp= 37,9m	Rp= 41,2m
Sol h=0m	Rp= 27m	Rp= 32,4m	Rp= 39,2m	Rp= 45m

Tableau 3 : Rayons de protection présumés du PDA existant ($\Delta_L=25\mu s$) selon les niveaux de protection requis (avec réduction de 40%)

6.1.2 IEPF à mettre en place

Suite à l'analyse probabiliste du risque foudre basée sur la norme NF EN 62305-2, cette structure nécessite une protection de **Niveau IV** contre les effets directs de la foudre.

La protection reposera sur l'utilisation d'un PDA (Paratonnerre à Dispositif d'Amorçage) afin de conserver une protection équivalente à celle déposée.

Niveau IV	$\Delta_L=30\mu s$	$\Delta_L=45\mu s$	$\Delta_L=60\mu s$
Sommet de la grande cheminée h=35m	Rp ₁ = 16m	Rp ₁ = 21m	Rp ₁ = 43m
Sommet de la petite cheminée h=25m	Rp ₂ = 45m	Rp ₂ = 55m	Rp ₂ = 65m
Sommet de la structure des prises d'air h=11,5m	Rp ₃ = 48m	Rp ₃ = 58m	Rp ₃ = 67m
Sol h=0m	Rp ₄ = 53m	Rp ₄ = 62m	Rp ₄ = 71m

Nota : les distances de protection sont données à titre indicatif et peuvent légèrement varier selon le fabricant

Tableau 4 : Rayons de protection en niveau IV selon avance à l'amorçage des PDA (avec réduction de 40%)

Le tableau ci-dessus montre que pour conserver une protection équivalente à celle existante, le PDA choisi devra avoir, à minima, une avance à l'amorçage de 30 μs . Cependant, il incombe à l'exploitant de vérifier cette équivalence sur les structures adjacentes (hors prestation de la présente étude).

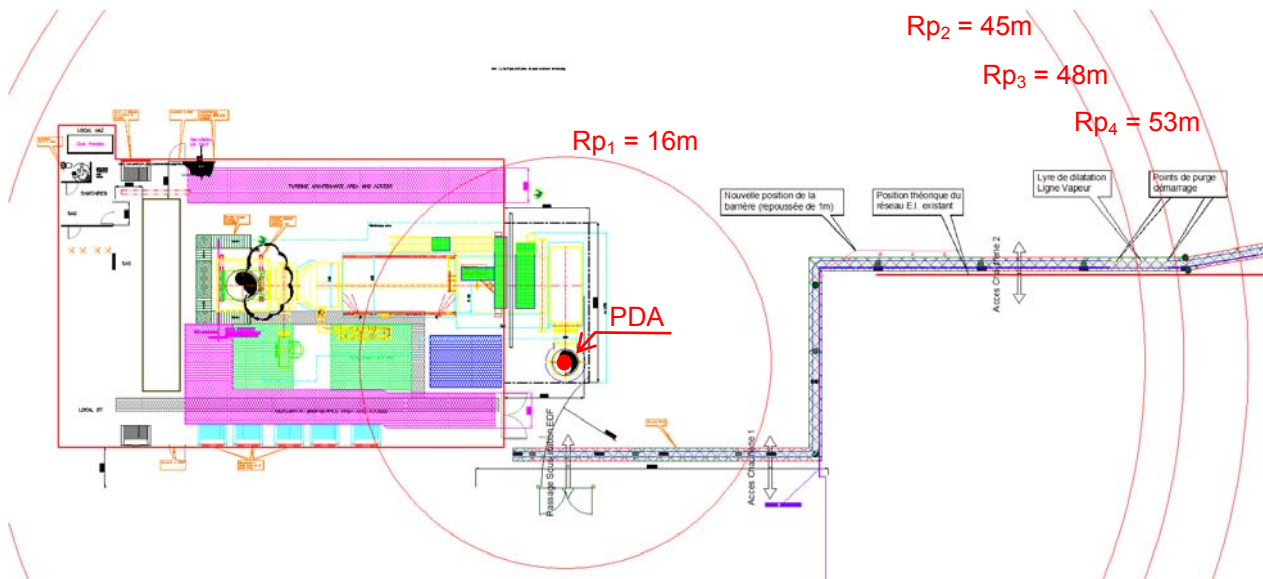


Figure 1 : Rayons de protection pour un PDA avec $\Delta_L=30\mu s$ en Niveau IV
(avec réduction de 40%)

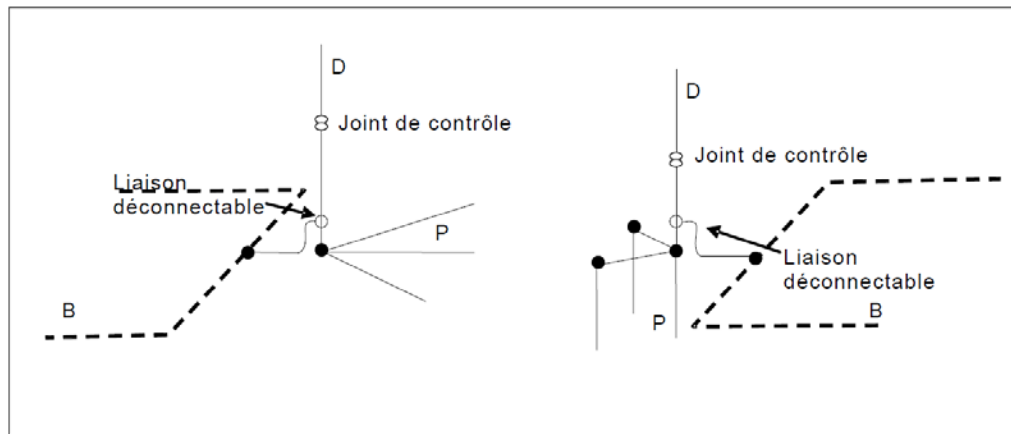
Le PDA devra être implanté 2m au-dessus de la cheminée de 35m. Il devra être testable à distance par télécommande.

Selon la norme NF-C 17-102, les PDA doivent être connectés à au moins deux conducteurs de descente. Ainsi, deux descentes diamétralement opposées seront à créer, en méplat cuivre nu de section $30 \times 2 \text{ mm}^2$ ou équivalent. Elles seront équipées de barrette de déconnexion et l'une d'elles d'un compteur de coup de foudre.

Si l'épaisseur de l'enveloppe de la cheminée est supérieur aux valeurs du Tableau 11 fournis en annexe 1, alors la cheminée pourra faire office de descente foudre. Dans ce cas, une seule descente foudre sera nécessaire.

Deux prises de terre de disposition A, diamétralement opposées, seront créées au droit de la ou des descentes foudre et interconnectées à la cheminée si celle-ci est utilisée comme dispositif d'écoulement des courants de foudre. Un regard de visite permettra la mesure de chaque prise de terre. Les prises de terre devront être reliées entre elles et au réseau général de terre de la Cogénération par un conducteur de cuivre nu de section minimum 50 mm^2 ou équivalent.

Les prises de terre devront respecter la conception indiquée dans la norme NF-C 17-102. La norme impose pour des prises de terre de disposition A les schémas ci-dessous :



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

Figure 2 : Exemple de prises de terre de disposition A

La valeur de la résistance mesurée de la prise de terre doit être obligatoirement inférieure à 10Ω . Si ce n'est pas le cas, des électrodes de terre devront être ajoutées.

6.1.3 Respect de la distance de séparation vis-à-vis du SPF

Les éléments et équipements métalliques à proximité des équipements de capture et des conducteurs de descentes foudre devront être connectés à ces derniers si ils ne respectent pas la distance de séparation calculée en annexe 2.

Il faut éviter de faire cheminer des câbles électriques à proximité de ces conducteurs.

Ainsi, les équipements métalliques présents à moins de 92 cm des conducteurs de descente foudre (ou de la cheminée), devront être interconnectés à ceux-ci par une liaison équipotentielle de même nature.

6.1.4 Mesures de protection contre les risques de tensions de contact et de pas liées à la foudre

A l'extérieur de la structure, à proximité des conducteurs de descente, dans des conditions particulières, les tensions de contact et de pas peuvent être dangereuses même si l'installation extérieure de protection contre la foudre a été conçue et mise en œuvre conformément aux exigences de la norme NF EN 62305-3.

Les risques sont réduits à un niveau tolérable si une des conditions suivantes est satisfaite :

- Dans les conditions normales de fonctionnement, personne ne se trouve à moins de 3 m des conducteurs de descente ;
- Un réseau d'au moins 10 conducteurs de descente conformes au chapitre 5.3.5 de la norme NF EN 62305-3 est utilisé ;
- la résistance de la couche de surface du sol, jusqu'à 3 m des conducteurs de descente, n'est pas inférieure à $100\text{ k}\Omega$.

Nota : Une couche en matériau isolant, par exemple une couche d'asphalte de 5 cm (ou une couche de gravier de 15 cm) réduit les risques à un niveau tolérable.

Lors des travaux, il faudra s'assurer que l'une des conditions citées ci-dessus soit respectée à minima.

6.1.5 Protection des canalisations

Les tôles métalliques recouvrant la structure à protéger peuvent être considérées comme dispositifs de capture "naturels", 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 suivant, de façon à empêcher la perforation des tôles ou à prendre en compte l'inflammabilité des matériaux placés dessous ;
- L'épaisseur des tôles métalliques ne soit pas inférieure à la valeur t figurant dans le tableau suivant, de façon à les protéger contre les perforations ou à éviter les problèmes de points chauds ;
- Elles ne soient pas revêtues de matériau isolant.

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

Ainsi, l'épaisseur des canalisations de gaz alimentant la Cogénération devra respecter les valeurs du tableau précédent. Les canalisations devront être mises à la terre à leur pénétration dans le bâtiment de la Cogénération, par une liaison équipotentielle en cuivre nu de section 50mm² ou équivalent reliée à la terre.

6.2 Installation Intérieure de Protection contre la Foudre (IIPF)

Suite à l'analyse probabiliste du risque foudre basée sur la norme NF EN 62305-2, cette structure nécessite une protection contre les effets indirects de la foudre de niveau IV sur chacune des liaisons pénétrantes dans le bâtiment.

6.2.1 Protection des liaisons courants forts

◆ Caractéristiques des parafoudres CFO

Les caractéristiques de ces parafoudres doivent être appropriées au niveau de protection nécessaire conformément aux normes de la série NF EN 62305.

- **Protection des liaisons avec des structures adjacentes / des éléments impactables**

Les parafoudres de **type 1** à installer doivent avoir subi des essais de classe I selon la norme NF EN 61643-11 (sous une onde de courant 10/350µs). Le dimensionnement de la composante I_{imp} est réalisé à partir de l'Annexe E de la NF EN 62305-1 en fonction du niveau de protection requis.

⇒ En niveau IV : $I_{imp} = 12,5 \text{ kA}$

◆ Parafoudres CFO à mettre en place

Liaisons	Type de Parafoudres courants forts	Caractéristiques
HT avec le poste BM6	Type 1	$I_{imp} = 12,5 \text{ kA}$
BT avec le poste SPACIO 10	Type 1	$I_{imp} = 12,5 \text{ kA}$

6.2.2 Protection des liaisons courants faibles

◆ Caractéristiques des parafoudres CFA

Les parafoudres « courants faibles » seront conformes, entre autre, à la norme : NF EN 61643-21 qui définit les prescriptions de fonctionnement et les méthodes d'essais de ces parafoudres.

Le paramètre "tension de limitation impulsionnelle" quantifie la surtension résiduelle en aval du parafoudre lorsqu'il est sollicité par une surtension. Concernant ce paramètre, les essais les plus représentatifs des coups de foudre sont :

- les essais de **catégorie D** pour les effets directs de la foudre (onde de courant 10/350µs) correspondent aux parafoudres qui doivent être installés sur les services entrants
- les essais de **catégorie C** pour les effets induits de la foudre (onde de courant 8/20µs)

Les parafoudres courants faibles choisis devront être adaptés au niveau de protection nécessaire, ainsi qu'au type de signal transitant sur la liaison. Des essais devront être réalisés pour vérifier que la transmission du signal n'est pas perturbée suite à la mise en place de parafoudres.

⇒ Dans notre cas : **Catégorie D**

◆ Parafoudres CFA à mettre en place

Liaisons avec ...	Type de Signal	Caractéristiques
le poste SPACIO 10	(1)	Catégorie D
le bâtiment USINE	(1)	Catégorie D
le poste de livraison gaz	(1)	Catégorie D
le bâtiment Chaudières 1 & 2	(1)	Catégorie D
le bâtiment administratif	(1)	Catégorie D
(1) Information non encore disponible à ce stade du projet		

6.3 Equipements Important pour la Sécurité (EIS)

Suite à l'analyse déterministe, l'automate de sécurité incendie devra être protégé contre les effets de la foudre.

Ainsi, un parafoudre de type 2 ($U_p \leq 1,5kV$ et $I_n \geq 10kA$) sera mis en place au plus près de l'alimentation électrique de la centrale.

Les règles d'installation des parafoudre sont données au § 9.2.5 de l'annexe 1.

Nota : Les parafoudres de type 2 à installer devront avoir subi des essais de classe II selon la norme NF EN 61643-11.

6.4 Moyen d'enregistrement des impacts foudre

Afin d'enregistrer les impacts foudre pour déclencher les visites périodiques de vérification des protections contre la foudre, le site doit disposer d'un moyen de détection et d'enregistrement des impacts foudre sur le site.

7. BILAN DES TRAVAUX A REALISER

Le tableau ci-dessous synthétise les travaux à réaliser sur la future Cogénération implantée sur le site des PAPETERIES PALM dans le cadre de la protection contre la foudre.

Structure	Protection effets directs	Protection effets indirects
Cogénération	Mise en place d'un PDA au sommet de la cheminée afin de protéger la cogénération en Niveau IV	<p>Mise en place de protections de Niveau IV à l'entrée des lignes extérieures connectées à la structure :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Liaisons HTA et CFA avec le poste BM6 • Liaisons BT et CFA avec le poste SPACIO 10 • Liaisons CFA avec le bâtiment Usine • Liaisons CFA avec le poste de livraison Gaz • Liaisons CFA avec le bâtiment Chaudières 1 & 2 • Liaisons téléphoniques avec le bâtiment Administratif <p>Mise en place d'un parafoudre CFO sur l'automate de sécurité incendie</p>
Canalisations	Mise à la terre des canalisations à leur pénétration dans la cogénération	Néant
Ensemble du site	Mise en place d'un moyen de détection et d'enregistrement des impacts foudre sur le site.	

Tableau 5 : Récapitulatif des travaux à réaliser

8. CONCLUSION

Ce document présente les solutions techniques permettant d'optimiser la protection contre la foudre de la future Cogénération implantée sur le site des PAPETERIES PALM conformément à l'ARF référencée DCE EIPI TTZN FDE NTE 001.

Les installations de protection contre les effets de la foudre existantes ou qui seront installées doivent faire l'objet de procédures de vérification et de maintenance telles que définies dans la notice de vérification et de maintenance référencée DCE EIPI TTZN FDE NTE 003.

9. ANNEXE 1 : PRESCRIPTIONS PARTICULIERES Foudre

9.1 Installation Extérieure de Protection contre la Foudre (IEPF)

Ce paragraphe rappelle les règles élémentaires applicables à la construction des IEPF. Il n'a pas pour objectif d'être exhaustif, ni de se substituer aux normes et aux règles de l'art.

Deux solutions sont possibles dans le cadre de la protection contre les effets directs de la foudre :

- Soit par un système actif (Paratonnerre à Dispositif d'Amorçage (PDA)).
- Soit par un système passif.

9.1.1 Constitution d'une IEPF

Les normes applicables à la mise en œuvre des IEPF sont :

- La norme NF C 17 102 pour la protection par système actif,
- La norme NF EN 62305-3 pour la protection par système passif.

Pour chacune des solutions, l'IEPF se compose :

- **d'un dispositif de capture du courant de foudre** (paratonnerre à dispositif d'amorçage dans le cas du système actifs et de paratonnerres, pointes caprices, conducteurs maillés, fils tendus... dans l'autre cas), destiné à servir de point de captage ou d'amorçage.

Les composants naturels d'une structure (charpente, ferrailage du béton armé ou couverture métallique, garde-corps...) peuvent servir de dispositifs de capture sous certaines conditions d'épaisseur, de section, de continuité électrique et d'équipotentialité.

Il en est de même pour les structures métalliques des réservoirs, des racks et des tuyauteries.

- **d'un système de conducteurs de toiture et de descente** dont le rôle est de canaliser et d'écouler les courants de foudre du dispositif de capture au réseau de terre de l'installation à protéger.

Les composants naturels d'une structure (poteaux métalliques, ferrailage du béton armé, éléments de façades...) peuvent servir de dispositifs de descente de foudre sous certaines conditions. Il en est de même pour les structures métalliques des réservoirs, des racks et des tuyauteries.

- **d'un réseau de terre maillé** capable d'évacuer le courant foudre de manière équipotentielle pour que les différences de potentiel au niveau de l'ensemble des masses métalliques de l'installation restent acceptables.

Pour chaque bâtiment ou installation à protéger contre les effets directs, le réseau de terre comprend une ou plusieurs prises de terre adaptées aux courants de foudre. A l'échelle du site, ces prises de terre sont interconnectées entre elles et avec les prises de terre des installations électriques.

Un schéma de principe d'IEPF est représenté ci-après.

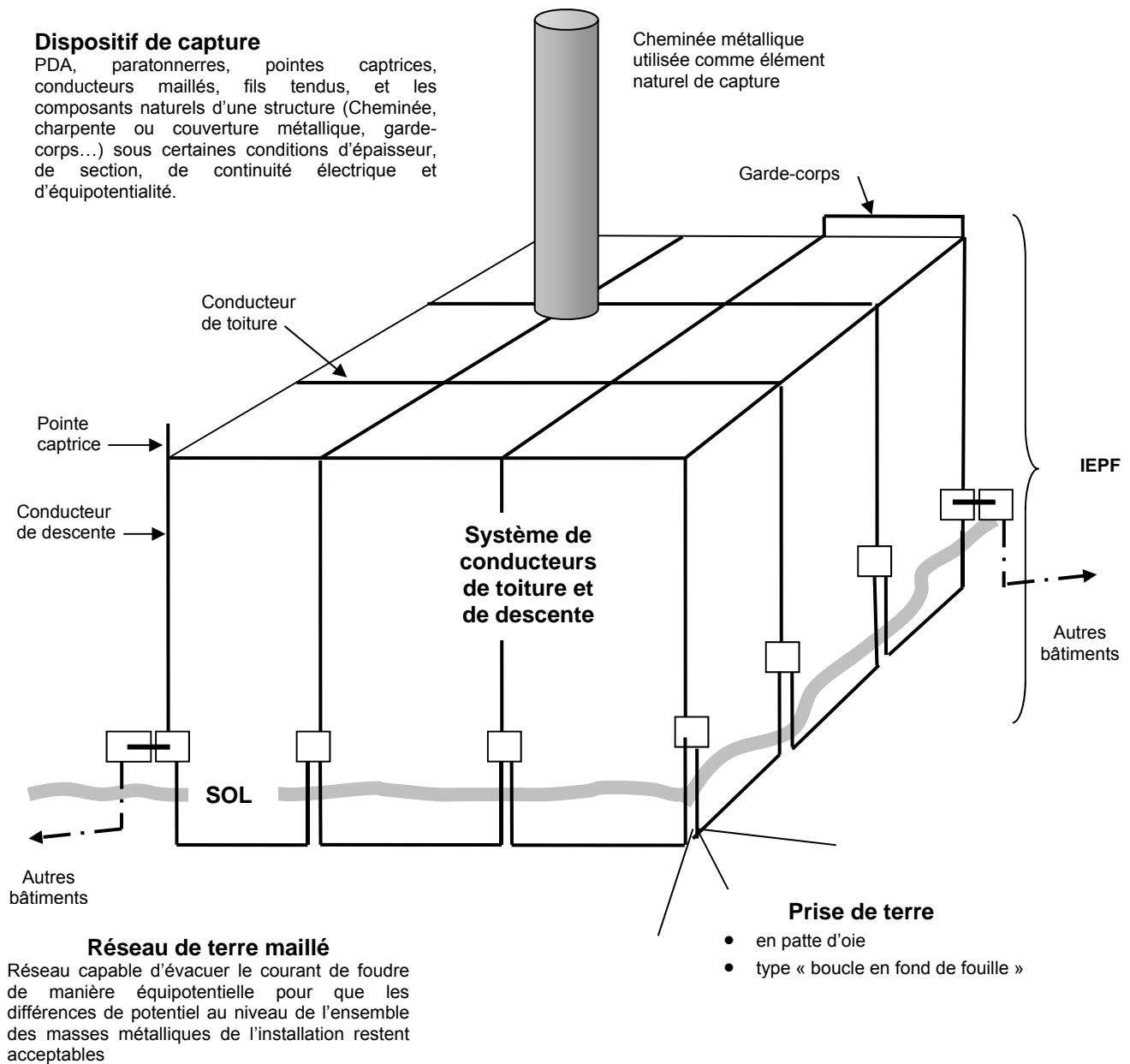


Figure 3 : Schéma de principe : Installation Extérieure de Protection Foudre (IEPF)

NOTA : Tous les composants constitutifs de l'IEPF doivent être conformes à la norme NF EN 50164.

9.1.2 Protection par système actif (PDA)

Ce type de protection est régi par la norme NF C 17-102 de septembre 2011.

Nous informons que ce type d'équipement doit être mis en œuvre après avoir pris connaissance des points suivants :

- Avenir incertain, le PDA n'est pas nommé dans les normes série NF EN 62305,
- Vérification périodique de la partie active pouvant être contraignante (Accessibilité),
- Efficacité controversée au niveau scientifique.

Dispositif de capture

Le dispositif de capture est réalisé par un ou plusieurs PDA (suivant la zone à protéger). Le rayon de protection des PDA donné par les constructeurs doit être réduit de 40 % selon la circulaire du 24 avril 2008.

Les Paratonnerres à Dispositif d'Amorçage (PDA) doivent être conformes à la norme NF C 17-102 de septembre 2011.

L'entreprise fournit la documentation technique des PDA proposés ainsi que la procédure à suivre pour le contrôle périodique du bon fonctionnement de la partie active de la tête.

La fixation des paratonnerres doit être adaptée aux intempéries et à la nature de la construction.

L'organe de capture du P.D.A. doit dépasser d'au moins 2 m la zone à protéger.



Dispositif de descente

Chaque PDA doit être connecté à au moins 2 conducteurs de descente conformément à la norme NF C 17-102 de septembre 2011;

Chaque conducteur de descente doit :

- être muni d'un joint de contrôle permettant de déconnecter la prise de terre pour procéder à des mesures,
- connecté à une prise de terre.

Prise de terre

La prise de terre peut être de 2 types :

➤ Type A :

- Soit par des conducteurs de même nature et de même section que les conducteurs de descente sauf pour l'aluminium, disposés en pattes d'oie de grandes dimensions et enfouis 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.

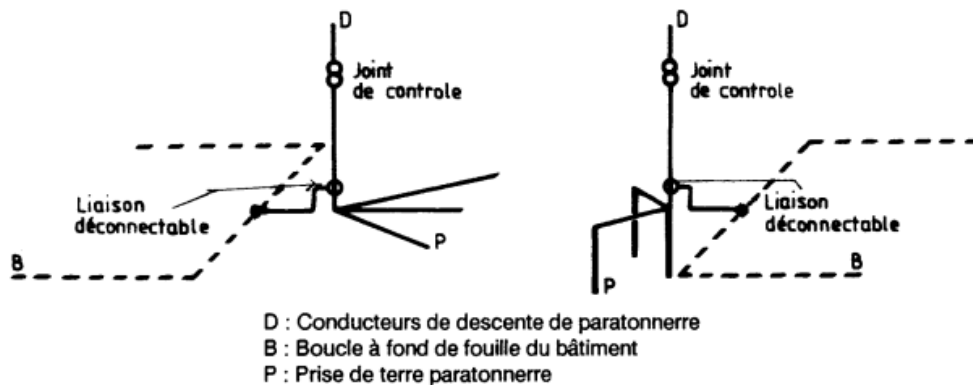


Figure 4 : Prises de terre pour les PDA

- Type B : Soit par une prise de terre en boucle, cette disposition comprend soit une boucle extérieur à la structure en contact avec le sol sur une longueur d'au moins 80% de la boucle, soit une prise de terre à fond de fouille, à condition qu'elle soit constitué d'un conducteur de 50 mm². De plus, il convient que chaque conducteur de descente soit au moins connecté à une électrode horizontale de longueur 4 m minimum ou à une électrode verticale de longueur 2 m minimum.

9.1.3 Protection par système passif

Ce type de protection est basé sur la norme NF EN 62305-3.

Dispositif de capture

Le dispositif de capture peut être constitué de cages maillées, de paratonnerre à tige simple ou pointes caprices, de fils tendus ou de la structure elle-même sous certaines conditions.

Cage maillée

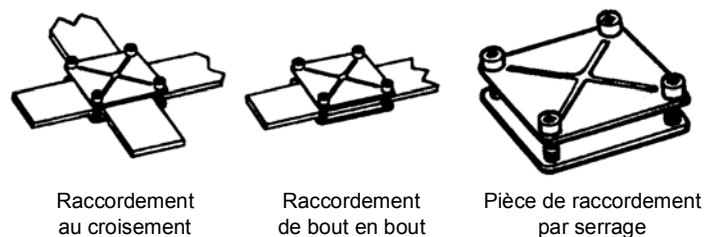
La cage maillée est constituée de conducteurs de toitures conformes au Tableau 11. Ces conducteurs sont interconnectés entre eux de manière à former un maillage destiné à servir de point de captage ou d'amorçage de la foudre.

Le tableau ci-dessous (extrait de la norme NF EN 62305-3) définit la dimension des mailles en fonction du niveau de protection nécessaire.

Niveau de protection	Dimension des mailles (m)
I	5 x 5
II	10 x 10
III	15 x 15
IV	20 x 20

Tableau 6 : Taille des mailles correspondant au type de SPF

Les conducteurs sont raccordés entre eux à chaque croisement, soit par soudure aluminothermique, soit par serrage à l'aide de pièces de raccordement spéciales. Un exemple de pièce de raccordement est donné sur la figure ci-après. En aucun cas, les conducteurs ne doivent être percés.



Raccordement
au croisement

Raccordement
de bout en bout

Pièce de raccordement
par serrage

Figure 5 : Exemple de raccordement par serrage

Les conducteurs du maillage sont fixés sur les toitures et les acrotères à l'aide de fixations qui doivent permettre une éventuelle dilatation du conducteur. Elles sont choisies en fonction du support :

- crampons chevillés sur le béton ou la maçonnerie,
- agrafes sur tuiles,
- bandes « ruberalu » collantes à chaud sur les revêtements étanches,
- plots lestés sur terrasse gravillonnée.

Les fréquences de fixation suggérées par la norme NF EN 62305-3 sont de tous les 50cm pour des conducteurs de toiture de type ruban.

Un exemple de fixation par plot lesté est représenté ci-dessous.

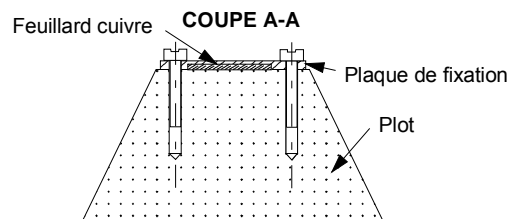
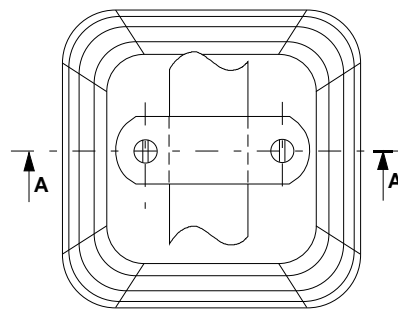


Figure 6 : Fixation des conducteurs de toiture par des plots lestés

Au niveau des acrotères, les conducteurs de toiture sont installés sur la face supérieure et non en façade ou à l'intérieur de la toiture.

Les conducteurs de toiture ne doivent pas remonter d'une hauteur supérieure à 40 cm et leur pente ne doit pas excéder 45°, comme représenté ci-dessous.

Les conducteurs de toiture sont interconnectés avec toute partie ou équipement métallique en toiture située à moins de 1 m.

Le maillage peut être complété, aux endroits les plus vulnérables (points hauts, angles des bâtiments), de pointes caprices.

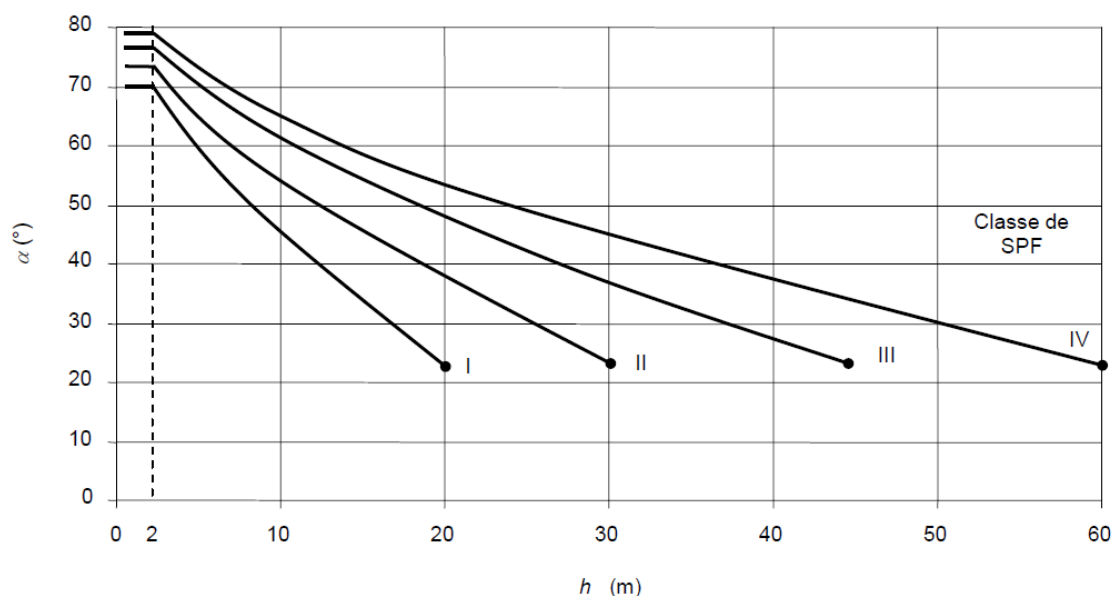
Paratonnerre à tige simple ou pointe caprice et fils tendus

Le volume protégé par ce genre de dispositif de capture est obtenu par la méthode de l'angle de protection et/ou la méthode électrogéométrique selon la norme NF EN 62305-3.

Le tableau ci-dessous spécifie les différentes dimensions pour chaque méthode en fonction du niveau de protection nécessaire.

Niveau de protection	Rayon de la sphère fictive (m)	Angle de protection α
I	20	Voir figure Figure 7
II	30	
III	45	
IV	60	

Tableau 7 : Rayon de la sphère fictive et angle de protection en fonction des niveaux de protection



IEC 2646/10

Figure 7 : Valeur de l'angle de protection en fonction du niveau de protection

Ces deux méthodes peuvent être couplées pour optimiser le coût de l'installation.

Si plusieurs pointes sèches composent le dispositif de capture, elles doivent être interconnectées entre elles.

Les pointes caprices peuvent être raccordées au maillage par soudure aluminothermique ou par serrage à l'aide de pièces spéciales.

Elles sont fixées par des moyens appropriés aux structures sur lesquelles elles sont installées. Leur fixation doit tenir les intempéries constatées dans la région considérée (vent, etc.). Un exemple de fixation et de raccordement des pointes caprices est représenté ci-après.

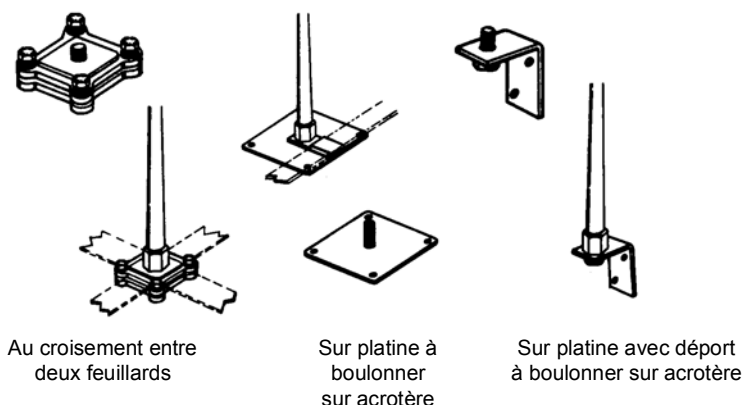


Figure 8 : Exemple de fixation et de raccordement des pointes caprices

Les matériaux des conducteurs de toiture, des pointes caprices et des pièces de raccordement ou de fixation ne doivent pas causer de corrosion électrolytique entre eux et avec tout élément métallique avec lequel ils sont en contact.

Composants « naturels »

Les composants naturels en matériau conducteur dans la structure (par exemple armatures d'acier interconnectées, structures métalliques, etc.) peuvent être utilisés comme dispositifs de capture "naturels".

Tôles métalliques

Les tôles métalliques recouvrant la structure à protéger peuvent être considérées comme dispositifs de capture "naturels", 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 suivant, de façon à empêcher la perforation des tôles ou à prendre en compte l'inflammabilité des matériaux placés dessous ;
- L'épaisseur des tôles métalliques ne soit pas inférieure à la valeur t figurant dans le tableau suivant, de façon à les protéger contre les perforations ou à éviter les problèmes de points chauds ;
- Elles ne soient pas revêtues de matériau isolant.

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

Tableau 8 : Epaisseur minimale des tôles ou canalisations métalliques du dispositif de capture

Eléments métalliques

Les éléments suivants peuvent être considérés comme dispositifs de capture "naturels" :

- Les éléments métalliques de construction du toit (fermes, etc.) recouverts de matériaux non métalliques, à condition que ces derniers puissent être exclus de la structure à protéger.
- Les parties 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.

Armatures d'acier interconnectées

Les armatures d'acier interconnectées du béton armé peuvent être considérées comme dispositifs de capture "naturels", à condition que ces derniers puissent être exclus de la structure à protéger.

Les armatures d'acier du béton armé doivent être interconnectées pour former un maillage de 5mx5m, 10mx10m, 15mx15m ou 20mx20m en fonction respectivement des niveaux de protection I, II, III et IV. Ces interconnexions sont réalisées soit par soudure aluminothermique soit par pièces de serrage conforme à la norme NF EN 50164.

Des bornes de jonction doivent être prévues au niveau de la toiture afin de faciliter la connexion avec tout élément métallique.

Tuyaux et réservoirs

Les éléments suivants peuvent être considérés comme dispositifs de capture "naturels" :

- Les tuyaux et réservoirs métalliques sur la toiture si l'épaisseur et la section de leur matériau est conforme au Tableau 11.
- Les tuyaux et réservoirs métalliques de mélanges combustibles et explosifs, s'ils sont réalisés en un matériau d'épaisseur non inférieure à la valeur appropriée de t figurant dans le Tableau 8, et si l'élévation de température de la surface intérieure au point d'impact ne constitue pas un danger.

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

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

Cas particulier d'une toiture flottante :

La norme NF EN 62305-3 indique que : « Dans le cas de toitures flottantes, il convient que celles-ci soient reliées à la coque du réservoir. Il convient que la conception des joints et shunts et leur emplacement soient soigneusement prévus de manière que le risque d'inflammation d'un mélange inflammable par une étincelle soit réduite au niveau le plus faible possible. Si une échelle est fixée, il convient qu'un conducteur souple de largeur 35 mm soit prévu entre les échelons, entre l'échelle et le réservoir en partie haute et entre l'échelle et la toiture flottante. Si une échelle mobile n'est pas fixée sur la toiture flottante, un ou plusieurs conducteurs (en fonction des dimensions du réservoir) de largeur 35 mm doivent être prévus entre la coque du réservoir et la toiture flottante. Il convient que ces conducteurs cheminent dans le drain de la toiture ou soient disposés de manière à ne pas constituer de boucles entrantes. Sur les toitures flottantes, il est recommandé que des shunts multiples comprenant les bandes en acier entre la toiture flottante et la coque du réservoir soient prévus tous les 1,5 m sur la périphérie de la toiture. Le choix des matériaux est donné selon les exigences du produit et/ou de l'environnement. D'autres moyens de connexion conductrice entre la toiture flottante et la coque du réservoir pour les courants pulsés associés aux décharges de foudre ne sont admis que s'ils ont été éprouvés par des essais et méthodes démontrant la fiabilité de la connexion. »

Dispositif de descente

Descentes des cages maillées

Le nombre de conducteurs de descente est fonction du périmètre de la structure à protéger et de son niveau de protection.

Des distances égales entre conducteurs de descente autour du périmètre du bâtiment sont préférées. Des valeurs typiques de distance (à +/-20%) sont données dans le Tableau 9.

Niveaux de protection	Distance habituelle (m)
I	10
II	10
III	15
IV	20

Tableau 9 : Distances habituelles entre descentes et entre ceinturages en fonction du niveau de SPF

Il est recommandé qu'un conducteur de descente soit installé, autant que possible, à chaque angle de la structure.

Les raccordements entre les descentes et les conducteurs de toiture sont effectués soit par soudure aluminothermique, soit par serrage à l'aide de pièces de raccordement spéciales. En aucun cas, les conducteurs ne doivent être percés.

Les descentes doivent être installées 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.

Les rayons de courbure ne doivent pas être inférieurs à 20 cm, comme représenté ci-dessous.

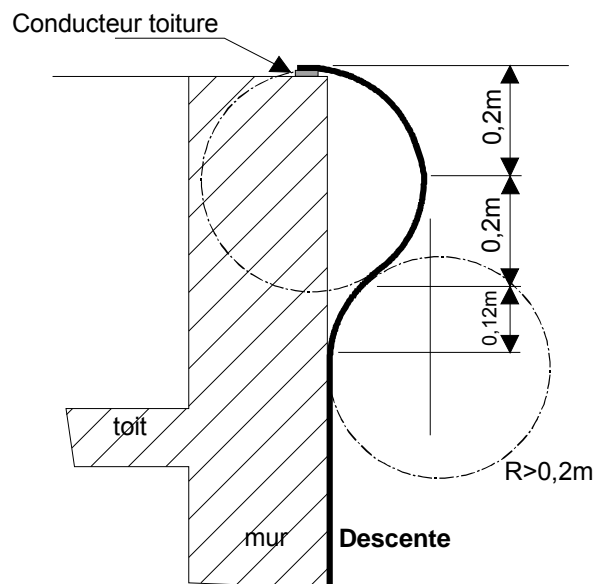


Figure 9 : Illustration des rayons de courbure minimaux à respecter

Les descentes sont fixées à l'aide d'une fixation tous les 50 centimètres pour du conducteur de type ruban. Les fixations doivent permettre une éventuelle dilatation du conducteur. Elles sont choisies en fonction de la nature des murs.

Lors de la connexion des descentes à la terre, il y a lieu d'équiper chaque descente à l'exception des descentes «naturelles» liées à une prise de terre à fond de fouille d'un joint de contrôle et d'un fourreau de protection tels que représentés sur la Figure 10.

Cette borne doit être démontable à l'aide d'un outil, pour les besoins de mesures, mais doit rester fermée en utilisation normale.

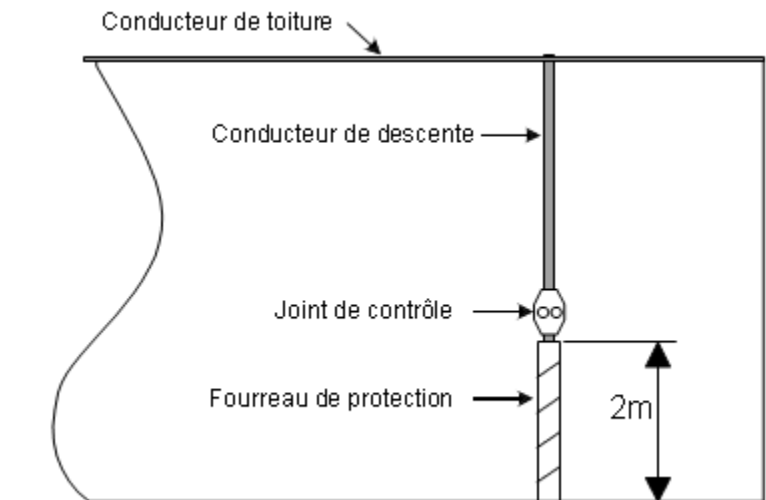


Figure 10 : Fourreau de protection et borne de coupure des descentes de foudre

Les descentes sont raccordées aux éléments métalliques extérieurs si la distance de séparation n'est pas respectée (voir annexe 2).

Si un câble électrique en façade croise une descente, il doit être placé sous une gaine métallique de 1 m de part et d'autre du croisement. La gaine est raccordée à la descente.

Les descentes sont raccordées aux éléments métalliques extérieurs qu'elles croisent (tels qu'huissieries, conduites, chemins de câbles, escaliers, échelles).

Les matériaux des conducteurs de descente et des pièces de raccordement ou de fixation ne doivent pas causer de corrosion électrolytique entre eux et avec tout élément métallique avec lequel ils sont en contact.

Paratonnerre à pointe sèche ou pointe caprice

Le nombre de conducteurs de descente ne doit pas être inférieur à deux et ils sont distribués autour du périmètre de la structure à protéger.

La constitution de ces conducteurs de descente ainsi que leurs mise en œuvre sont les mêmes que celles définies dans le paragraphe précédent (cage maillée).

Fils tendus

Les piliers métalliques supportant les fils tendus pourront faire office de conducteurs de descente naturel conformément au paragraphe suivant.

Sinon un conducteur de descente par pilier sera mis en place. La constitution de ces conducteurs de descente ainsi que leurs mise en œuvre sont les mêmes que celles définies dans le paragraphe précédent (cage maillée).

Composants « naturels »

Installations métalliques

Les installations métalliques peuvent être considérées comme des descentes "naturelles" à condition que:

- la continuité électrique entre les différents éléments soit réalisée de façon durable par brasage, soudage, sertissage, vissage ou boulonnage,
- leurs dimensions soient au moins égales à celles qui sont spécifiées pour les descentes normales dans le Tableau 11.

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

Ossature métallique

L'ossature métallique de la structure présentant une continuité électrique peut être considérée comme des descentes "naturelles".

Armatures armées en acier

Les armatures armées en acier interconnectées de la structure en béton peuvent être considérées comme des descentes "naturelles".

Si les armatures du béton armées sont utilisées comme conducteurs de descente naturels, il faudra s'assurer et réaliser les éléments suivants :

- La continuité électrique entre les armatures du béton devra être réalisée et assurée dans le sens vertical entre la toiture et le sol du bâtiment.
- Cette continuité devra être réalisée tous les 10m, 10m, 15m et 20m sur le périmètre conformément et respectivement pour les niveaux de protection I, II, III et IV.
- Cette continuité sera réalisée par l'ajout de pièces de raccordement entre fer à béton.
- Cette continuité sera mesurée et devra être inférieur à 0,2 Ohm pour être validée.
- Des bornes de jonction devront être prévues au niveau de la toiture afin de faciliter la connexion au dispositif de capture et au niveau de la partie basse pour la connexion à la prise de terre.

Eléments de façade

Les éléments de façade, profilés et supports des façades métalliques peuvent être considérées comme des descentes "naturelles" à condition que:

- leurs dimensions soient conformes aux exigences relatives aux descentes et que leur épaisseur ne soit pas inférieure à 0,5 mm,
- leur continuité électrique dans le sens vertical soit réalisée par brasage, soudage, sertissage, vissage ou boulonnage.

Prise de terre

Prises de terre selon NF EN 62305-3

Les prises de terre sont les éléments déterminants d'une bonne protection contre les effets de la foudre. Celles-ci, en particulier, écoulent dans le sol la majeure partie des courants de foudre issus des conducteurs de descente. Correctement interconnectées, elles forment un réseau de terre qui limite la montée en potentiel du site et uniformise cette montée grâce à une bonne équipotentialité entre bâtiments.

La norme NF EN 62305-3 définit deux dispositions de prises de terre :

- La prise de terre de **disposition A** est constituée par des électrodes de terre radiales ou verticales connectées à chacune des descentes. La longueur minimale de chaque électrode est définie à partir de la Figure 11. Cette longueur minimale peut ne pas être considérée si une prise de terre de résistance inférieure à 10 Ω est réalisée.
- La prise de terre de **disposition B** est constituée :
 - soit par une boucle en fond de fouille
 - soit par une boucle extérieure à la structure à protéger, en contact avec le sol sur au moins 80% de sa longueur ;

Ce type de disposition comporte une boucle extérieure à la structure à protéger, en contact avec le sol sur au moins 80 % de sa longueur. Le conducteur de la prise de terre doit être enterré à moins 0,5 m de profondeur et à au moins 1 m à l'extérieur des murs.

Le rayon géométrique moyen r de la surface englobée par la boucle extérieure ne doit pas être inférieur à la longueur l_1 définie sur le graphe ci-dessous.

Lorsque r est inférieur à L , des conducteurs de terre horizontaux ou verticaux sont ajoutés. Leur longueur est : $L-r$ pour les conducteurs horizontaux et $(L-r)/2$ pour les conducteurs verticaux.

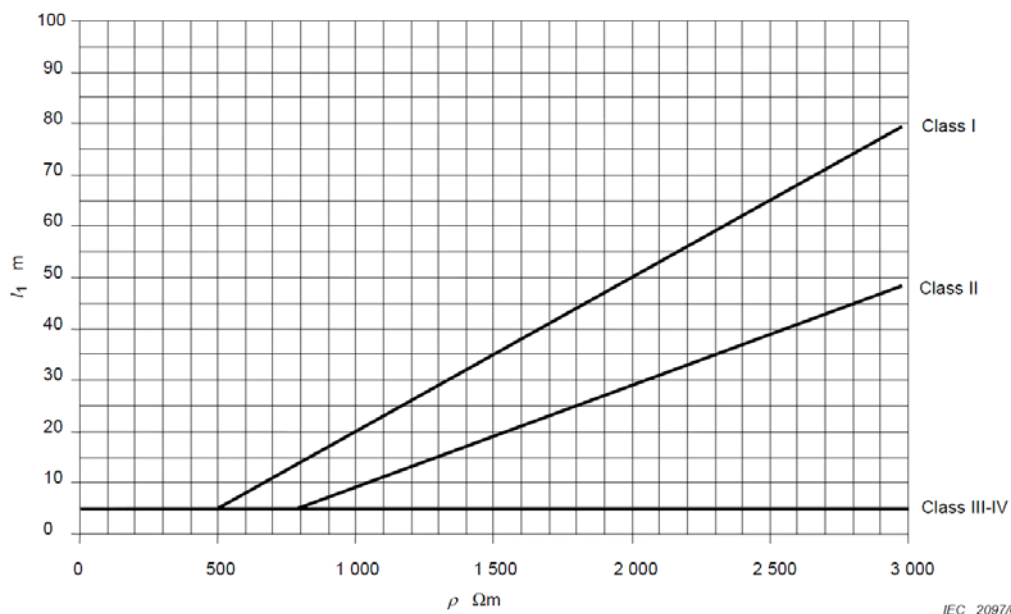


Figure 11 : Prise de terre de type boucle en fond de fouille
Longueur minimale l_1 de conducteur enterré en fonction de la résistivité du sol

Pour les niveaux de protection III et IV, la résistivité du sol n'influence pas sur la longueur de la boucle de la prise de terre. Par contre pour les niveaux de protection I et II la taille de la boucle de la prise de terre est dépendante de la résistivité du sol.

Nota : Pour des structures avec des systèmes électroniques ou à risque d'incendie élevé, la prise de terre foudre recommandée est la prise de terre de disposition B selon la norme NF EN 62305-3.

Fréquence des connexions du réseau de terre aux descentes foudre

Le tableau ci-dessous indique en fonction du niveau de protection du SPF défini dans l'ARF selon la norme NF EN 62305-2 les fréquences de connexion du réseau de terre aux descentes foudre conformément à la norme NF EN 62305-3.

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

Tableau 10 : Distances habituelles entre descentes et entre ceinturages en fonction du type de SPF

Interconnexion des prises de terre

Toutes les prises de terre paratonnerre d'un même bâtiment sont raccordées au réseau de terre du bâtiment.

A l'échelle du site, un réseau de terre maillé doit interconnecter les terres des différents bâtiments. Le maillage minimal est obtenu avec deux points de connexion par bâtiment.

Le cheminement des liaisons équipotentielles entre bâtiments est déterminé de manière à former une maille sensiblement homogène sur le site. En pratique, des liaisons équipotentielles sont systématiquement disposées sur le cheminement des liaisons électriques courants forts ou courants faibles et des liaisons équipotentielles supplémentaires viennent en complément pour former le maillage.

La Figure 12 montre le principe de ce maillage (cas idéal) :

- Le réseau de terre de chaque bâtiment est plus dense①.
- Les réseaux de terre des bâtiments ① sont interconnectés entre eux en plusieurs points.
- Des équipements isolés sont raccordés à ce maillage de façon différente selon leur taille : une cheminée métallique ② pouvant être foudroyée est raccordée en 4 points, un équipement moins haut ③ est raccordé en 2 points.
- Un équipement métallique reliant les deux bâtiments ④ est raccordé à chacune de ces extrémités directement au réseau de terre.

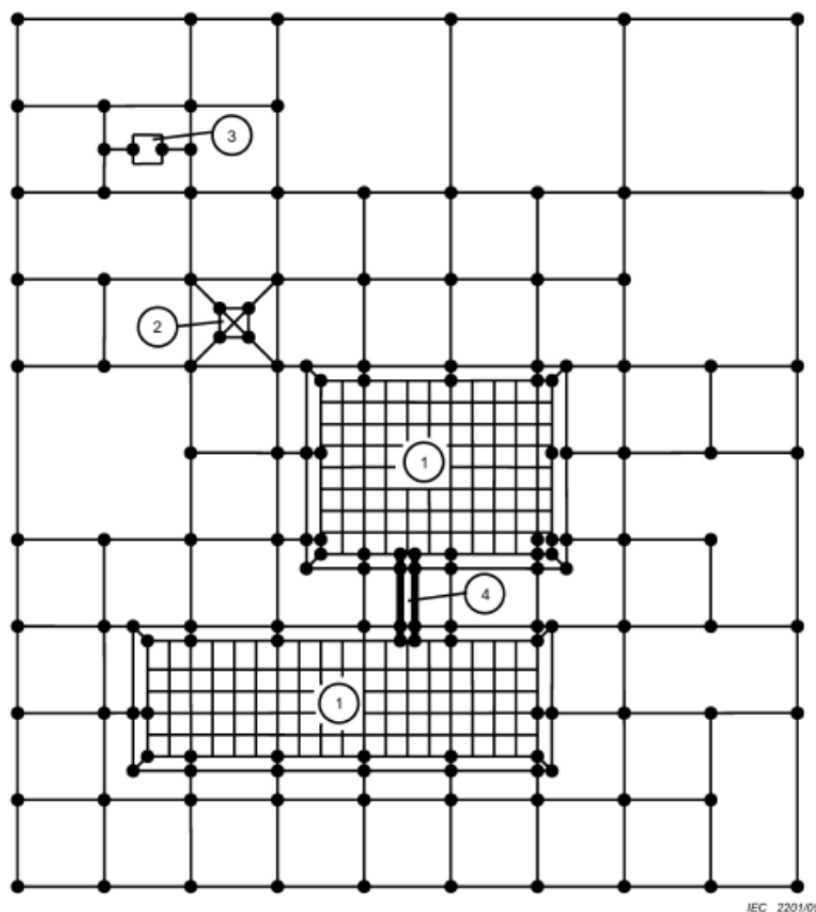


Figure 12 : Principe de maillage d'un réseau de terre étendu

Les conducteurs de terre sont posés soit à fond de fouille (autour ou sous les radiers), soit dans une tranchée de 1m de profondeur. Les nœuds du réseau et les jonctions entre extrémités de conducteurs sont réalisés par brassage.

Afin d'assurer la continuité de terre, en cas de rupture d'un collecteur, on s'attache à éviter les circuits en antenne (sauf dans le cas d'un seul équipement).

9.1.4 Matériaux et sections

Les matériaux et sections utilisables pour la construction des IEPF sont rappelés dans les tableaux ci-après (extraits de la norme NF EN 62305-3).

Matériau	Configuration	Section mm ²
Cuivre Cuivre étamé	Plaque pleine	50
	Rond plein ^b	50
	Torsadé ^b	50
	Rond plein ^c	176
Aluminium	Plaque pleine	70
	Rond plein	50
	Torsadé	50
Alliage d'aluminium	Plaque pleine	50
	Rond plein	50
	Torsadé	50
	Rond plein ^c	176
Alliage d'aluminium à revêtement en cuivre	Rond plein	50
Acier galvanisé à chaud	Plaque pleine	50
	Rond plein	50
	Torsadé	50
	Rond plein ^c	176
Acier à revêtement en cuivre	Rond plein	50
	Plaque pleine	50
Acier inoxydable	Plaque pleine ^d	50
	Rond plein ^d	50
	Torsadé	70
	Rond plein ^c	176
^a Les caractéristiques mécaniques et électriques, ainsi que les propriétés de résistance à la corrosion doivent satisfaire aux exigences de la future série de la EN 50164. ^b 50 mm ² (diamètre de 8 mm) peut être réduit à 25 mm ² dans certaines applications où la résistance mécanique ne constitue pas une exigence essentielle. Il convient dans ce cas de prendre en considération la réduction de l'espacement entre les fixations. ^c Applicable aux tiges et aux électrodes de terre guidées. Pour les tiges pour lesquelles la contrainte mécanique telle que la charge due au vent n'est pas critique, une tige d'un diamètre de 9,5 mm et d'une longueur de 1 m peut être utilisée. ^d Si les considérations thermiques et mécaniques constituent des éléments importants, il convient alors de porter ces valeurs à 75 mm ² .		

Tableau 11 : Matière, configuration et sections minimales des conducteurs de capture, des tiges et des conducteurs de descente

Matériau	Configuration	Dimensions		
		Diamètre de la tige de terre mm	Conducteur de terre mm ²	Plaque de terre mm
Cuivre Cuivre étamé	Torsadé		50	
	Rond plein	15	50	
	Plaque pleine		50	
	Canalisation	20		
	Plaque pleine			500 × 500
	Plaque en treillis ^c			600 × 600
Acier galvanisé à chaud	Rond plein	14	78	
	Canalisation	25		
	Plaque pleine		90	
	Plaque pleine			500 × 500
	Plaque en treillis ^c			600 × 600
	Profil	^d		
Acier nu ^b	Torsadé		70	
	Rond plein		78	
	Plaque pleine		75	
Acier revêtu de cuivre	Rond plein	14	50	
	Plaque pleine		90	
Acier inoxydable	Rond plein	15	78	
	Plaque pleine		100	

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

^b Doit être encastré dans le béton sur une profondeur minimale de 50 mm.

^c Plaque en treillis avec une longueur totale minimale du conducteur de 4,8 m.

^d Différents profils sont admis avec une section de 290 mm² et une épaisseur minimale de 3 mm, par exemple, profil transversal.

^e Dans le cas d'un réseau de terre à fond de fouille à disposition de type B, l'électrode de terre doit être connectée de manière appropriée au moins tous les 5 m, à l'armature d'acier.

Tableau 12 : Matière, configuration et dimensions minimales de l'électrode de terre

9.1.5 Equipotentialités

Equipotentialité diverses

La protection extérieure contre les effets directs de la foudre doit être complétée par des liaisons équipotentielle entre :

- Le SPF et les éléments métalliques extérieurs et intérieurs (si distance < à la distance de séparation calculée en annexe 2) : chemins de câbles, bardage du bâtiment, extractions, échelles à crinolines...

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

- Les éléments conducteurs extérieurs (canalisation, chemin de câbles ...) à leur point de pénétration dans la structure et le réseau de terre du bâtiment.

Les mise à la terre et les interconnexions entre les masses métalliques existantes et la protection foudre de la structure seront réalisées par du conducteur de même nature que celle-ci.

Equipotentialités aux réseaux de terre de l'installation et du site

La connexion du réseau de terre du bâtiment au réseau de terre de l'installation foudre devra être réalisée.

Du conducteur de cuivre nu de section minimale de 50mm² sera utilisé. Il sera enterré à 0,5m de profondeur. Il sera connecté à la prise de terre foudre du bâtiment via des connexions identifiées.

Par ailleurs la connexion du réseau de terre du bâtiment à celui des bâtiments à proximité (création d'un réseau de terre site maillé) est une mesure préconisée pour la protection contre les tensions de pas (voir §9.1.6).

9.1.6 Mesures de protection contre les tensions de pas

D'après la norme NF EN 62305-3 :

A l'extérieur de la structure, à proximité des conducteurs de descente, dans des conditions particulières, la tension de pas peut être dangereuse même si le SPF a été conçu et mis en œuvre conformément aux règles de la présente norme.

Les risques pour les personnes peuvent être considérés comme négligeables si les conditions suivantes sont satisfaites :

- la probabilité pour que les personnes s'approchent et la durée de leur présence à l'extérieur de la structure et à proximité des conducteurs de descente sont très faibles ;
- la résistivité de la couche de surface du sol, jusqu'à 3 m des conducteurs de descente, n'est pas inférieure à 5 kΩm.

NOTA : Une couche en matériau isolant, par exemple une couche d'asphalte de 5 cm (ou une couche de gravier de 15 cm) satisfait généralement cette exigence.

Si aucune de ces conditions n'est satisfaite, des mesures de protection doivent être prises contre les lésions d'êtres vivants en raison des tensions de pas telles que :

- Equipotentialité au moyen d'un réseau de terre maillé (voir Figure 12);
- Restrictions physiques et/ou pancartes d'avertissement afin de minimiser la probabilité de toucher les conducteurs de descente, jusqu'à 3 m.

Ces mesures de protection contre les tensions de pas devront être appliquées à minima sur les bâtiments nécessitant une protection contre les effets directs de la foudre suite au calcul du risque R1 selon la norme NF EN 62305 – 2 dans l'analyse du risque foudre.

9.1.7 Mesures de protection contre les tensions de contact

Les risques sont réduits à un niveau tolérable si une des conditions suivantes est satisfaite :

- la probabilité pour que les personnes s'approchent et la durée de leur présence à l'extérieur de la structure et à proximité des conducteurs de descente est très faible ;
- les conducteurs naturels de descente sont constitués de plusieurs colonnes de la structure métallique de la structure ou de plusieurs poteaux en acier interconnectés, assurant leur continuité électrique ;
- la résistivité de la couche de surface du sol, jusqu'à 3 m des conducteurs de descente, n'est pas inférieure à 5 k.Ωm.

NOTA : Une couche en matériau isolant, par exemple une couche d'asphalte de 5 cm (ou une couche de gravier de 15 cm) réduit les risques à un niveau tolérable.

Si aucune de ces conditions n'est satisfaite, des mesures de protection doivent être prises contre les lésions d'êtres vivants en raison des tensions de contact telles que :

- l'isolation des conducteurs de descente est assurée pour 100 kV, sous une impulsion de choc 1,2/50 μs, par exemple par une épaisseur minimale de 3 mm en polyéthylène réticulé ;
- des restrictions physiques et/ou des pancartes d'avertissement afin de minimiser la probabilité de toucher les conducteurs de descente.

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

Ces mesures devront être appliquées au cas par cas en fonction des installations de protections contre la foudre.

9.2 Installation Intérieure de Protection contre la Foudre (IIPF)

Ce paragraphe rappelle les règles élémentaires applicables à la construction des IIPF. Il n'a pas pour objectif d'être exhaustif, ni de se substituer aux normes et aux règles de l'art.

Les normes applicables à la mise en œuvre des IIPF sont les normes NF EN 62305-3 et NF EN 62305-4.

9.2.1 Présentation du concept de zones de protection foudre issu de la norme NF EN 62305-4

Le **concept de Zone de Protection Foudre (ZPF)** décrit dans les normes NF EN 62305 et plus particulièrement la norme NF EN 62305-4 consiste à décomposer l'installation en plusieurs ZPF dans lesquelles le niveau d'agression foudre est adapté au matériel à protéger.

Les ZPF sont définies en fonction :

- des possibilités offertes par la nature des constructions,
- des nécessités de protection des différents équipements.

Chaque ZPF est représentative d'un niveau d'exposition au courant et au champ électromagnétique de la foudre tel que défini ci-après :

- ZPF0A : zone exposée aux coups de foudre directs (courant de foudre total et champ électromagnétique total),
- ZPF0B : zone protégée contre les coups de foudre directs (courant de foudre partiel et champ électromagnétique total),
- ZPF1 : zone protégée contre les coups de foudre directs et située derrière un écran électromagnétique (courant de foudre partiel et champ électromagnétique atténué),
- ZPF2 : zone protégée contre les coups de foudre directs et située derrière deux écrans électromagnétiques (comme la ZPF1 mais avec un champ électromagnétique plus réduit).

La création de ZPF intègre donc :

- La mise en place d'une IEPF,
- La mise en place de mesures pour la réduction du champ électromagnétique (écrans spatiaux, réseaux de masses...),
- La mise en place de mesures de protection pour les réseaux électriques et métalliques aux interfaces entre les zones (équipotentialités, parafoudres...).

9.2.2 Réduction des effets du champ magnétique

Les différents modes de protection reposent, soit sur un blindage spatial des locaux, soit sur un blindage des câbles (ou par l'utilisation de chemins de câbles métalliques capotés), soit par la réduction des surfaces de boucle. Ces règles sont exposées sur le schéma de principe de la page suivante.

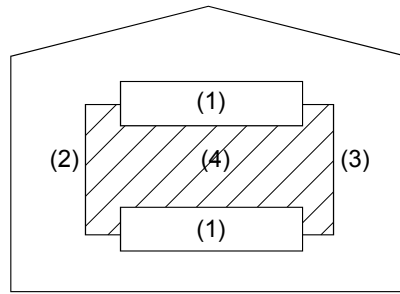
La protection par écran spatial est obtenue en formant une maille conductrice sur toutes les parois extérieures des locaux. La taille de maille requise varie de 5m à 1m, en fonction des spécifications particulières aux locaux ou bâtiments concernés. La maille peut être constituée grâce :

- aux ferrillages du béton, soudés entre eux,
- à des conducteurs posés sur les parois des locaux.

Un écran spatial peut aussi être réalisé grâce aux parois métalliques des appareillages, des coffrets électriques et de baies, sous réserve de la continuité électrique entre les différentes tôles. Pour ordre de grandeur, cette continuité doit être assurée :

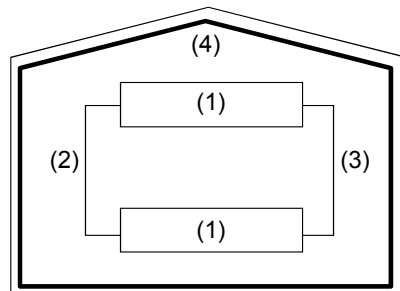
- au moins aux quatre angles de chaque tôle,
- au minimum tous les mètres pour les tôles de grande dimension,

par des contacts électriques tôle sur tôle (avec des épargnes de peinture de préférence aux rondelles éventail) ou par des tresses plates en cuivre de 16 mm² de section.



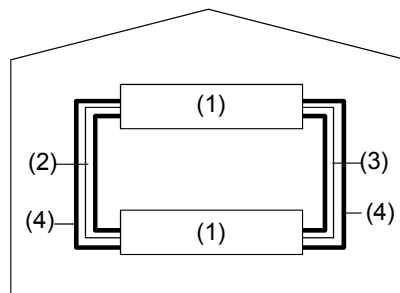
- (1) : Matériel
- (2) : Ligne a (par exemple puissance)
- (3) : Ligne b (par exemple communication)
- (4) : Boucle d'induction

A - Système non protégé



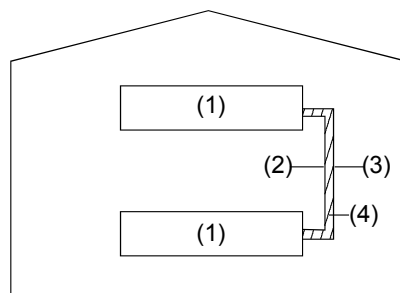
- (1) : Matériel
- (2) : Ligne a (par exemple puissance)
- (3) : Ligne b (par exemple communication)
- (4) : Ecran spacial

B - Protection par écran spacial



- (1) : Matériel
- (2) : Ligne a (par exemple puissance)
- (3) : Ligne b (par exemple communication)
- (4) : Blindage ou chemin de câble capoté et continu

C - Protection par blindage des lignes



- (1) : Matériel
- (2) : Ligne a (par exemple puissance)
- (3) : Ligne b (par exemple communication)
- (4) : Boucle réduite

D - Réduction de boucle par cheminement

Figure 13 : Schéma de principe des différents modes de réduction des effets du champ magnétique

La protection par blindage des câbles repose soit sur l'utilisation de câbles blindés, soit sur la pose des câbles en chemins de câbles métalliques capotés présentant une continuité électrique de bout en bout tel que représenté ci-après.

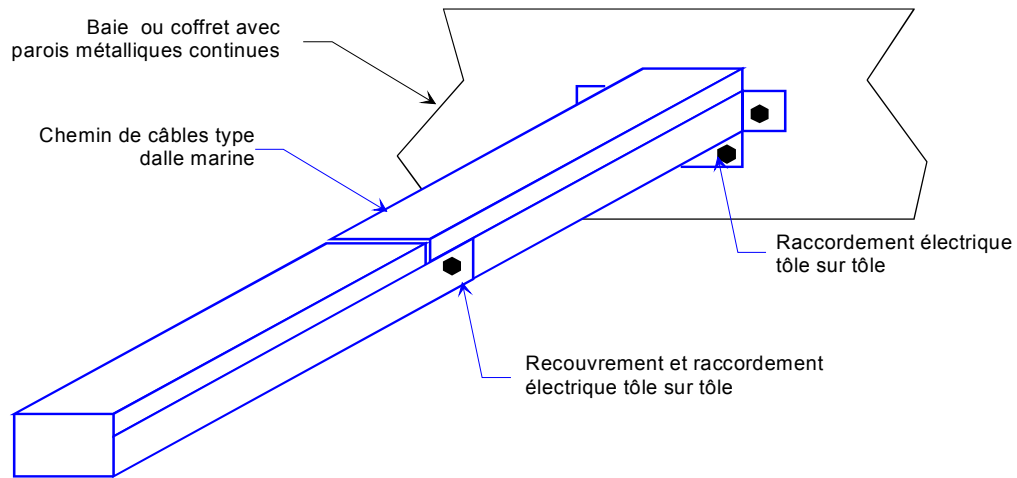


Figure 14 : Principe de pose des chemins de câbles permettant une réduction efficace des effets du champ magnétique

Les blindages des câbles seront raccordés sur 360° comme représenté sur la Figure 15.

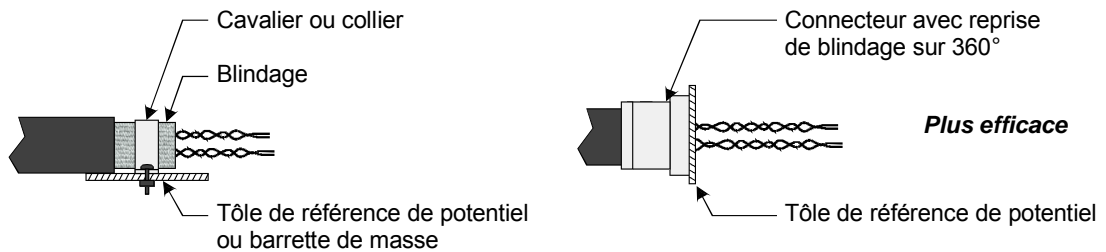


Figure 15 : Raccordement des blindages de câbles

La protection par réduction de la surface de boucle consiste à :

- faire cheminer l'aller et le retour d'un signal dans le même câble,
- faire cheminer le conducteur de masse dans le même câble, chemin de câble ou à proximité du réseau de masse maillé associé aux conducteurs actifs,
- utiliser les mêmes cheminements pour tous les câbles d'un même circuit. Cependant, un éloignement de 30 cm entre les câbles de différente nature (par exemple courants forts et courants faibles) doit être respecté afin d'éviter la diaphonie.

9.2.3 Réseaux de masse

Dans chaque bâtiment ou sur chaque plate-forme, les terres, les masses et les différents éléments métalliques doivent être interconnectés pour former un réseau homogène et maillé.

Ce réseau de terre maillé est formé par l'interconnexion :

- des conducteurs de protection mis en œuvre pour la protection vis-à-vis des risques électriques,
- des « cablettes » des chemins de câbles métalliques,
- des conduites métalliques,
- des charpentes et huisseries métalliques,
- des tôles métalliques des appareillages, des coffrets électriques et des baies.
- des liaisons équipotentielles dites "supplémentaires" disposées de manière à former des mailles avec les éléments précités.

9.2.4 Interfaces entre ZPF

Continuité des masses et raccordement des parties métalliques

La continuité des réseaux de masse doit être assurée aux interfaces entre deux ZPF.

A sa pénétration dans une ZPF, toute partie métallique doit être raccordée sur le réseau de masse.

Ces règles sont illustrées sur le schéma de principe ci-dessous.

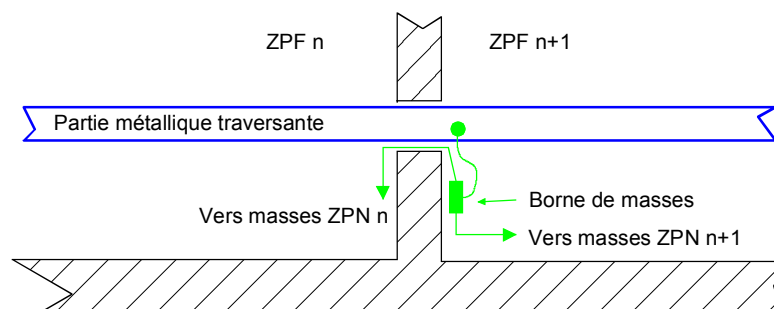


Figure 16 : Schéma de principe des raccordements des parties métalliques à leur pénétration dans une ZPF

Parafoudres ou blindages

Des parafoudres doivent être installés sur toutes les liaisons électriques à la frontière entre deux ZPF. Lorsque la liaison électrique est issue d'une ZPF 0A, des parafoudres de type 1 sont requis. Sinon, des parafoudres de type 2 sont adaptés. En complément des parafoudres d'interface entre ZPF, des parafoudres complémentaires de type 2 doivent être installés au plus près des EIS lorsque ceux-ci sont à plus de 10 m de l'interface. Ces règles sont représentées sur le schéma de principe ci-dessous.

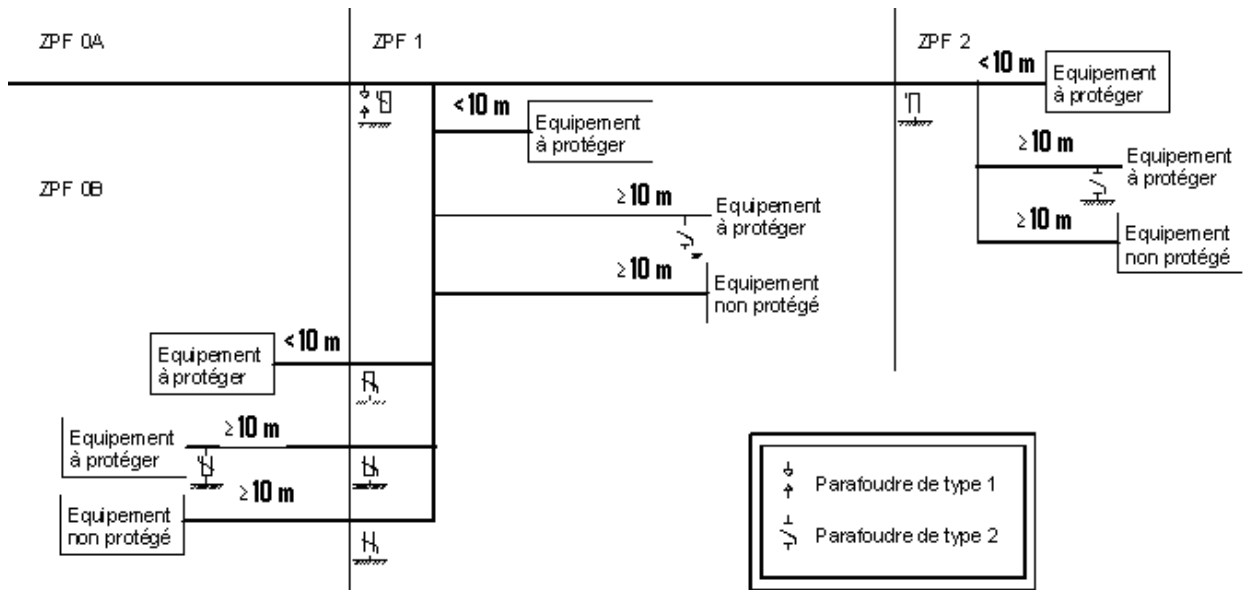


Figure 17 : Schéma de principe de l'implantation des parafoudres aux interfaces entre ZPF et pour la protection des matériels électriques

En l'absence de coffret électrique à l'interface entre une ZPF n et une ZPF n+1, les parafoudres sont installés dans le premier coffret de la ZPF n+1. La liaison entre l'interface et ce premier coffret est placée dans un chemin de câble métallique fermé.

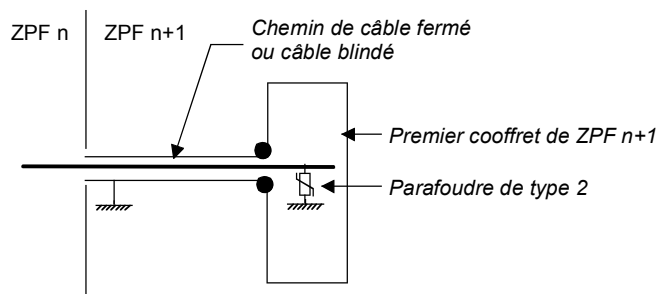


Figure 18 : Déport des parafoudres d'interface entre deux ZPF

De même, l'interconnexion de ZPF de même niveau ou l'extension de ZPF peuvent être utilisées pour réduire le nombre de parafoudres (par la mise en œuvre de câbles ou conduits écrantés).

9.2.5 Installation de parafoudres courants forts

Ce paragraphe rappelle les règles élémentaires applicables à la mise en œuvre des parafoudres. Il n'a pas pour objectif d'être exhaustif, ni de se substituer aux normes et aux règles de l'art.

Type de parafoudres

Les parafoudres courants forts sont classés par les normes CEI 61643-11 et EN 61643-11 en 3 types, correspondants à des classes d'essais, qui sont :

Les parafoudres de type 1 :

Ces parafoudres sont conçus pour être utilisés sur des installations où le risque foudre est très important (régions très foudroyées, alimentation électrique aérienne ou protection contre les effets directs du bâtiment).

Ces parafoudres installés en tête de l'installation doivent avoir passé des essais de classe I selon la norme CEI 61643-11. Leur capacité d'écoulement est particulièrement élevée, puisque leur rôle est d'évacuer la majeure partie du courant de foudre.

Les parafoudres de type 2 ou 3 :

Ces parafoudres doivent avoir passé des essais de classe II et III selon la norme CEI 61643-11. Leur rôle est d'écrêter la surtension à un niveau compatible avec les matériels à protéger.

Les parafoudres de type 2 sont installés en tête de l'installation (lorsque le risque foudre est faible) ou à proximité des équipements sensibles.

Les parafoudres de type 3 sont installés à proximité des équipements particulièrement sensibles.

Afin d'assurer la protection d'une installation, il peut être nécessaire de créer une cascade de parafoudres (parafoudres en tête de l'installation et à proximité des équipements sensibles).

Règles d'installation

L'installation de parafoudres doit respecter un certain nombre de règles.

La mise en place d'un dispositif de déconnexion (disjoncteur de déconnexion ou fusibles) dont le rôle est d'éliminer les courts-circuits au niveau du parafoudre.

Le calibre du disjoncteur ou du fusible dépend du modèle de parafoudre installé et des protections amont. Il doit être choisi en concertation avec le fabricant des parafoudres et il doit assurer la sélectivité avec les protections installées en amont.

Le pouvoir de coupure du disjoncteur ou des fusibles doit être adapté à l'intensité de court-circuit au point de raccordement.

La distance de protection d'un parafoudre selon le guide UTE C 15-443 est au plus de 10 m.

Au-delà, le phénomène de réflexion d'ondes peut, dans le pire des cas, faire apparaître une tension double de la tension de limitation du parafoudre (U_p) aux bornes de l'équipement.

C'est pourquoi, il convient de répéter la protection pour les équipements sensibles situés en aval d'un parafoudre, à plus de 10 m.

Cas particulier : si la tenue aux chocs des équipements est au moins deux fois plus grande que U_p alors la distance de protection peut être omise.

La bonne coordination des parafoudres installés en cascade.

La maintenance des parafoudres consistant à la vérification du bon fonctionnement (dispositif de signalisation du parafoudre, télésignalisation...) et du remplacement des parafoudres défectueux.

Les longueurs des raccordements aux conducteurs actifs (phases, neutre) et à la terre doivent être aussi courtes que possibles.

La longueur complète de l'installation de parafoudre (comprenant le raccordement aux conducteurs actifs, le disjoncteur de déconnexion, le parafoudre et le raccordement à la terre) ne devrait pas être supérieure à 50 cm. Cette spécification est représentée sur la figure ci-après.

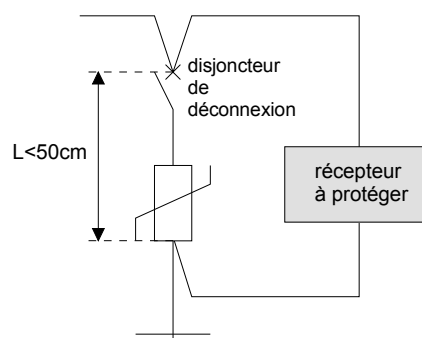


Figure 19 : Règle dite « des 50 cm » pour le câblage des parafoudres

Les contraintes liées au schéma de liaison à la terre :

- ◆ En TNS, les parafoudres doivent assurer une protection de mode commun et de mode différentiel (Parafoudre entre phase et neutre optionnel).
- ◆ En TNC et IT, les parafoudres ne doivent assurer qu'une protection de mode commun.
- ◆ En IT, au premier défaut d'isolement, les parafoudres sont soumis, entre terre et phases, à la tension composée du réseau. Ils doivent supporter cette contrainte sans dommage et en assurant leur fonction de protection.

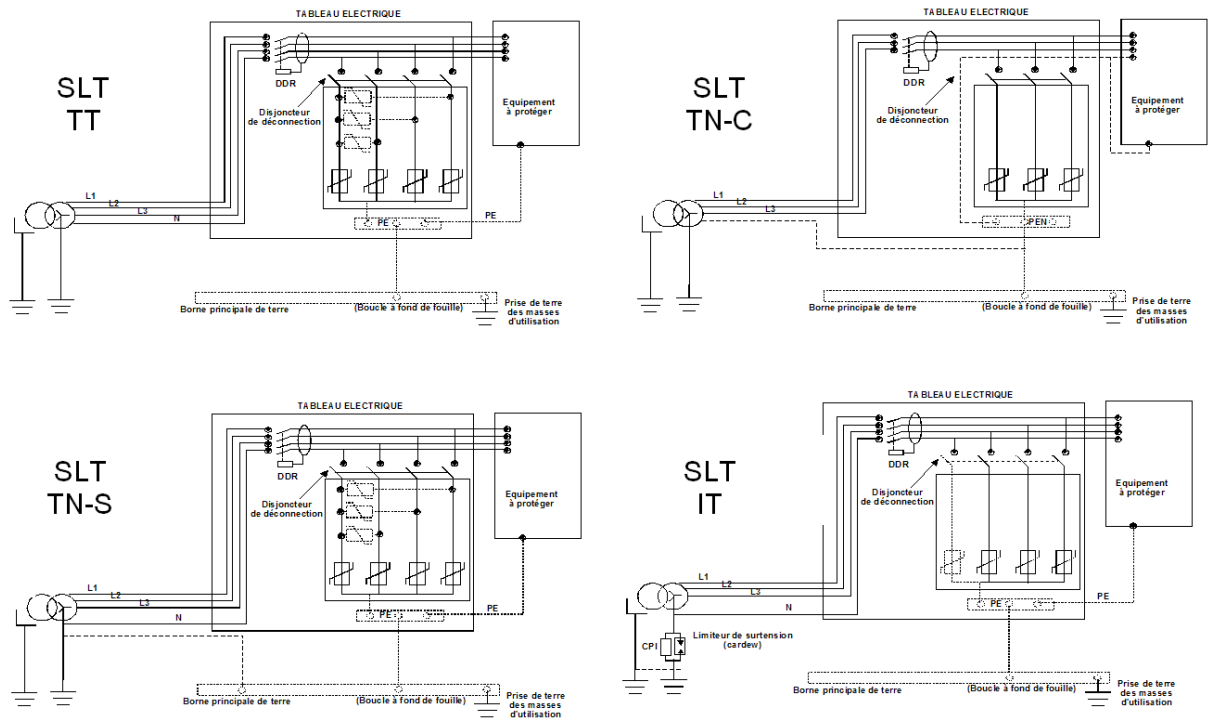


Figure 20 : Branchement des parafoudres en fonction du schéma de liaison à la terre

9.2.6 Protection des liaisons courants faibles

Les liaisons courants faibles qui sortent des bâtiments requièrent une protection qui sera réalisée :

- soit avec un mode de pose et/ou des câbles appropriés,
- soit par l'installation de parafoudres aux extrémités de chaque liaison considérée.

De manière préférentielle, cette protection sera réalisée avec un mode de pose et/ou des câbles appropriés afin d'éviter le recours à des parafoudres.

Protection par parafoudres

Les prescriptions de fonctionnement et les méthodes d'essais des parafoudres courants faibles sont définies dans la norme CEI 61643-21.

Le paramètre "tension de limitation impulsionnelle" quantifie la surtension résiduelle en aval du parafoudre lorsqu'il est sollicité par une surtension. Concernant ce paramètre, les essais les plus représentatifs des coups de foudre sont :

- les essais de catégorie D pour les effets directs de la foudre (onde de courant 10/350µs).
- les essais de catégorie C pour les effets induits de la foudre (onde de courant 8/20µs),

Les essais de catégorie C sont généralement pratiqués par les constructeurs de parafoudres, alors que les essais de catégorie D sont rarement réalisés.

Par analogie avec les parafoudres courants forts et pour faciliter la lecture du document, la convention suivante sera employée dans la suite du document :

- les essais de catégorie D correspondent aux parafoudres dits "de type 1",
- les essais de catégorie C correspondent aux parafoudres dits "de type 2"

Lorsqu'un grand nombre de points doit être équipé, les parafoudres pourront être installés dans les coffrets de raccordement ou d'interface, en lieu et place des borniers. L'encombrement des modules parafoudres est alors un critère de choix important.

Le schéma de principe ci-après montre schématiquement le câblage des coffrets parafoudres.

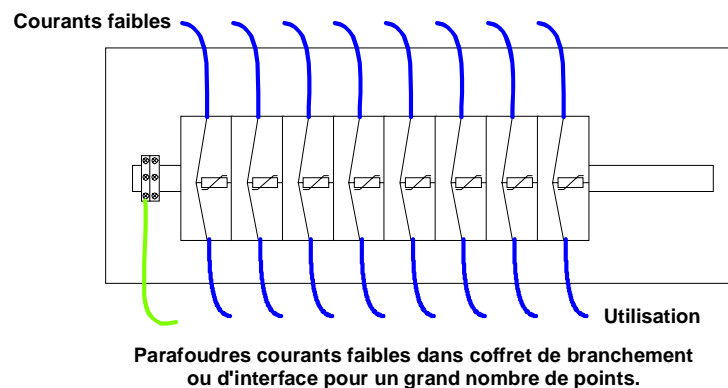


Figure 21 : Schéma de principe du raccordement des parafoudres courants faibles

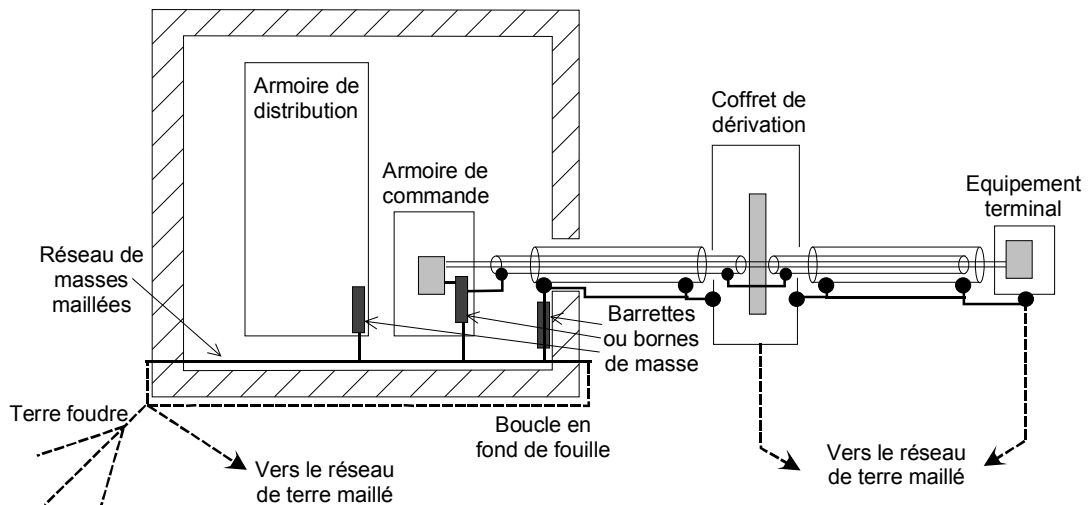
Protection naturelle

Les liaisons courants faibles peuvent présenter une certaine immunité vis-à-vis de la foudre en fonction des câbles choisis et de leur mode de pose.

Une protection efficace contre les effets de la foudre peut être obtenue avec un double blindage :

- le blindage externe doit être continu et raccordé à la terre chaque fois que possible,
- il doit avoir une section suffisante pour écouler une fraction du courant de foudre (typiquement 6 à 16 mm²),
- le blindage interne doit être continu et raccordé à la masse uniquement à une extrémité, généralement du côté des baies de traitement ou de mesure,
- sa section a peu d'importance car il joue le rôle d'écran électromagnétique,
- le blindage interne doit être isolé de la terre et du blindage externe sur la toute la longueur de la liaison, y compris dans les coffrets de dérivation.

Ces règles sont illustrées par la figure ci-dessous.



Assurer la continuité électrique du blindage interne et le raccorder aux masses de l'armoire de commande.
Assurer la continuité électrique du feuillard métallique externe et le raccorder à la terre à ses extrémités et chaque fois que possible.
Maintenir un isolement entre le blindage interne et le feuillard métallique externe.

Figure 22 : Protection naturelle des liaisons courants faibles

9.2.7 Matériels, matériaux et sections

Parafoudres courants forts

Les parafoudres de type 1 ont les caractéristiques suivantes selon CEI 61643-11 et guide UTE C 15-443 :

- Type 1 (testé avec un courant de foudre généralement de forme 10/350) ;
- Courant de choc minimum I_{imp} de 12,5 kA ;
- Tension résiduelle U_p inférieure ou égale à 2,5 kV ;
- Signalisation de défaut en face avant ;
- En option, contact de report à distance de la signalisation de défaut,
- En option, cartouches parafoudres débrochables

Les parafoudres de type 2 ont les caractéristiques suivantes selon CEI 61643-11 et guide UTE C 15-443 :

- Type 2 ;
- Tension résiduelle U_p de la protection de Mode Commun $\leq 1,5$ kV ;
- Intensité nominale I_n de décharge (en onde 8/20 μ s) ≥ 5 kA ;
- Intensité maximale I_{max} de décharge (en onde 8/20 μ s) ≥ 10 kA ;
- Signalisation de défaut en face avant ;
- En option, contact de report à distance de la signalisation de défaut ;
- Cartouches parafoudres débrochables.

Les parafoudres combinés, type 1 / type 2 ont les caractéristiques suivantes selon CEI 61643-11 et guide UTE C 15-443 :

- Type 1 / Type 2 ;
- Courant de choc minimum I_{imp} (généralement en onde 10/350 μ s) de 12,5 kA ;
- Intensité nominale I_n de décharge (en onde 8/20 μ s) ≥ 5 kA ;
- Intensité maximale I_{max} de décharge (en onde 8/20 μ s) ≥ 10 kA ;
- Tension résiduelle U_p inférieure ou égale à 1,5 kV ;
- Signalisation de défaut en face avant ;
- En option, contact de report à distance de la signalisation de défaut ;
- Suivant nécessité (présence de composants semi-conducteurs), Cartouches parafoudres débrochables.

Parafoudres courants faibles

Les parafoudres utilisés pour la protection des courants faibles doivent satisfaire les exigences du guide UTE C 15-443 et de la norme NF EN 61643-21. En particulier, ils doivent être adaptés au type de liaison. Les critères de choix sont :

- Connectique et mode de pose,
- Tension nominale et surtension résiduelle adaptée aux matériels à protéger,
- Capacité parasite (en nF).
- Perte d'insertion (en dB).
- Facteur d'adaptation (en dB).
- Affaiblissement de conversion longitudinal (ACL) (en dB).
- Taux d'erreur binaire (TEB).
- Paradiaphonie (en dB).

A la mise en service, il est nécessaire s'assurer que la transmission du signal n'est pas perturbée.

10. ANNEXE 2 : DISTANCE DE SEPARATION

C'est la distance entre deux parties conductrices telle qu'aucune étincelle dangereuse ne puisse apparaître. L'isolation électrique entre le dispositif de capture ou les conducteurs de descente et les parties métalliques de la structure, les installations métalliques et les systèmes intérieurs peuvent être réalisées par une distance d entre les parties plus grande que la distance de séparation s :

$$s = k_i \frac{k_c}{k_m} l$$

Où

s : Distance de séparation en mètres

k_i : dépend du type de SPF choisi

k_m : dépend du matériau de séparation

k_c : dépend du courant de foudre s'écoulant dans les conducteurs de descente

l : est la longueur en mètres, le long du dispositif de capture ou des conducteurs de descente entre le point où la distance de séparation est prise en considération et le point de la liaison équipotentielle la plus proche.

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

Lorsque le conducteur de descente ne peut pas être disposé à une distance supérieure à la distance de séparation, une liaison équipotentielle doit être mise en place entre la descente et la masse métallique concernée.

Les conducteurs d'équipotentialité sont de même type que les conducteurs de descente.

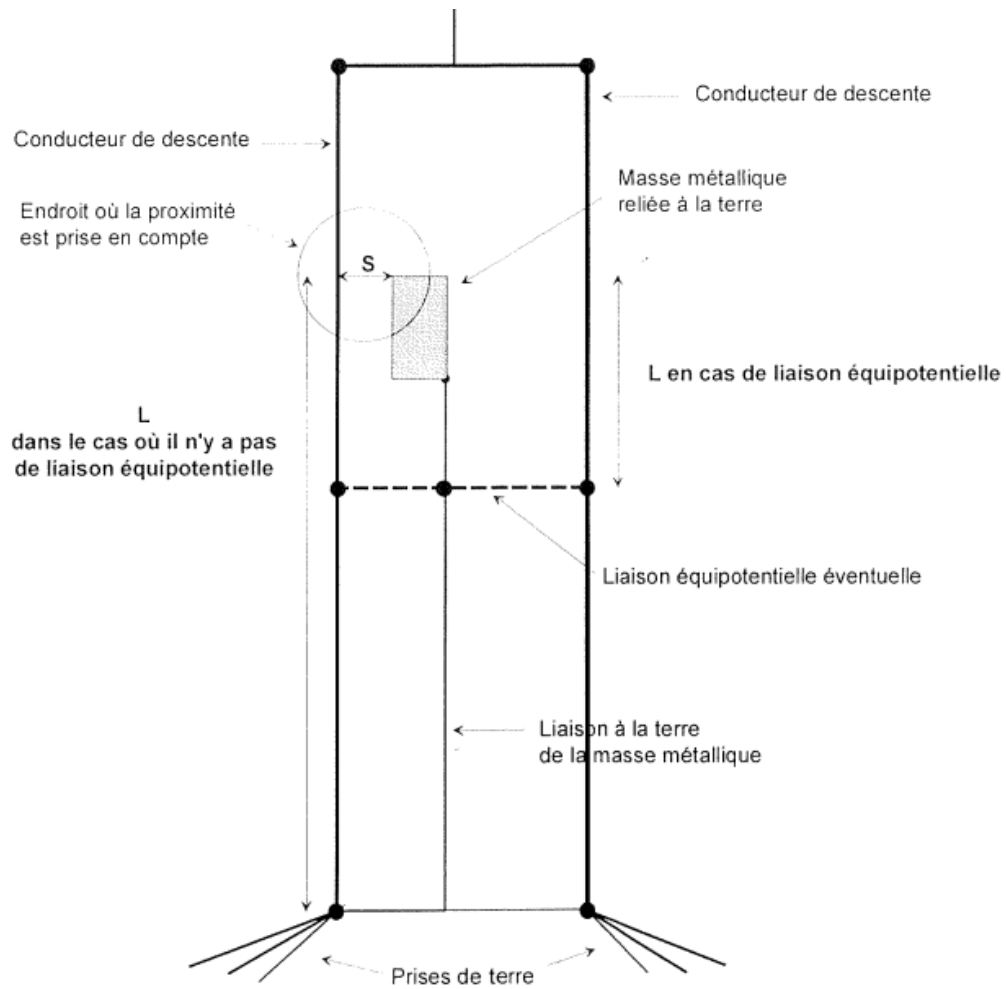


Figure 23 : Exemple de distance de séparation entre SPF et les installations métalliques.

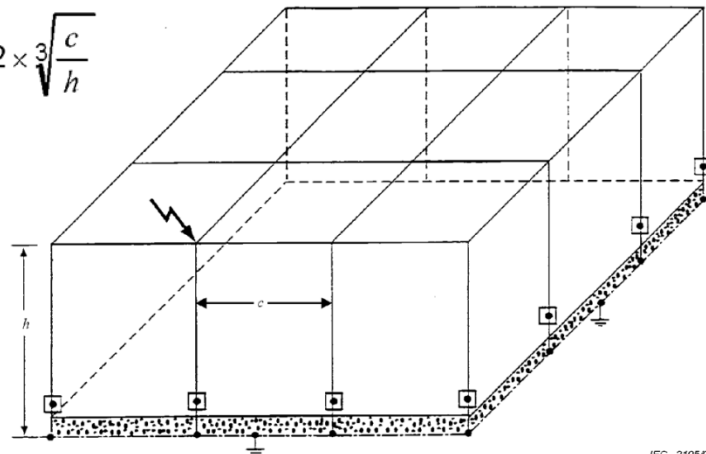
Ces coefficients doivent être choisis conformément à la norme NF EN 62305-3. Ils sont regroupés dans le Tableau 13.

Choix des coefficients :

Coefficient	Paramètres intervenant sur le choix du coefficient		
	SPF de niveau I	SPF de niveau II	SPF de niveau III et IV
ki	0,08	0,06	0,04
kc	$\frac{1}{2n} + 0,1 + 0,2 \times \sqrt[3]{\frac{c}{h}}$		
km	Air	Béton, briques	
	1	0,5	

Tableau 13 : Choix des coefficients pour la distance de séparation

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



Légende

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

NOTE 1 Pour un calcul détaillé du coefficient k_c , voir la Figure C.3.

NOTE 2 En cas de conducteurs de descente intérieurs, il convient de les prendre en compte pour le calcul de k_c .

Figure 24 : Valeurs du coefficient k_c dans le cas d'un maillage de capture et d'une prise de terre de type B

Nombre de conducteurs de descente <i>n</i>	k_c
1 (uniquement dans le cas d'un SPF isolé)	1
2	0,66
3 et au-delà	0,44

Note : les valeurs de ce tableau s'appliquent à toutes les dispositions de prise de terre de type B et toutes les dispositions de prises de terre de prises A, à condition que la résistance de terre des électrodes de terre voisines ne diffère pas de plus d'un facteur de 2. Si les résistances de terre des électrodes simples diffèrent de plus d'un facteur de 2, une valeur $k_c = 1$ est supposée.

Tableau 14 : Valeurs approchées du coefficient k_c

En appliquant les différentes formules on obtient les valeurs suivantes :

	niveau de la cage maillée	k_i	k_c	<i>l</i>	distance séparation / partie métallique extérieure (dans air)
Cheminée	niveau IV	0,04	0,66	35	0,92

Tableau 15 : Valeurs des distances de séparation