



Référence : Document Technique DT 67

Date : Octobre 2000

Thème / Sous-thème :
Sécurité industrielle / Risques sur les installations

RECOMMANDATIONS POUR LA PROTECTION DES INSTALLATIONS INDUSTRIELLES CONTRE LES EFFETS DE LA FOUDRE

POUR

L'APPLICATION DE L'ARRETE DU 28 JANVIER 1993 CONCERNANT LA PROTECTION CONTRE LA FOUDRE DE CERTAINES INSTALLATIONS CLASSEES

UIC/Département Technique – Document Technique DT 67



Reproduction même partielle interdite, sauf à l'intérieur des établissements adhérents



UIC
Le Diamant A
92909 Paris-La Défense Cedex

☎ 01 46 53 11 00

📠 01 46 96 00 59

GESIP
22, rue du Pont-Neuf
BP 2722
75027 Paris Cedex 01

☎ 01 44 82 72 74

📠 01 42 21 32 86

**RECOMMANDATIONS POUR LA PROTECTION
DES INSTALLATIONS INDUSTRIELLES
CONTRE LES EFFETS DE LA Foudre**

POUR

**L'APPLICATION DE L'ARRETE DU 28 JANVIER 1993
CONCERNANT LA PROTECTION CONTRE LA Foudre
DE CERTAINES INSTALLATIONS CLASSEES**

Ce guide annule et remplace les guides précédents :

- UIC de juin 1991 (DT 18), ainsi que son complément d'octobre 1993.
- GESIP n° 94/02 de juillet 1994

Document technique UIC n° DT 67

**Rapport GESIP n° 94/02
Version 2000**

Octobre 2000

Ce document a été établi par les groupes de travail « Sécurité Electrique » de l'Union des Industries Chimiques et « Foudre » du GESIP composés des représentants des sociétés suivantes :

ATOFINA	(Bernard VALLOT)
EDF	(André BONAMY)
EXXONMOBIL CHEMICAL FRANCE	(Bernard BEUQUE & Gérard HOMBOURGER)
GEOSTOCK	(M. BRUANT)
GESIP	(Joël ROGARD)
RHODITECH	(Didier SOUILLARD)
SHELL CHIMIE	(Pierre MARIA)
SPSE	(M. DE CASTRO)
SOLVAY	(Joseph ALLARD)
TOTALFINA ELF S.A.	(Etienne HOUBIGUIAN, M. LEFOYER & Alain PAPA)
TRAPIL	(Didier TARDY)
UIC	(Gérard SIMONNET & Alain PIERRAT)

Ce document guide ne saurait être considéré comme exhaustif et ne prétend, en aucun cas, se substituer à la réglementation en vigueur.

OBJET DU DOCUMENT

Par ses multiples effets, la foudre est susceptible d'engendrer dans les installations industrielles des perturbations au niveau des équipements et des moyens de production. Leur défaillance peut entraîner des risques graves pour les personnels et leur environnement.

La foudre est génératrice de surtensions qui, comme les surtensions d'origine industrielle (de manœuvres, de résonance...), constituent une forme d'agression pour les installations industrielles, et notamment les équipements électriques (énergie, électronique, informatique, télé-informations...).

Ce document a pour but :

- de rappeler les risques,
- d'identifier leurs conséquences,
- de proposer une approche méthodologique de protection,
- d'explicitier et d'apporter des solutions pratiques de réalisation,

dans le cadre de l'arrêté du 28 janvier 1993 et de ses circulaires d'application.

Ce guide est structuré suivant le logigramme de l'annexe A de la circulaire du 28 octobre 1996 (jointe en annexe 3).

Il faut préciser, dès à présent, qu'il s'agit d'une approche pluridisciplinaire s'appuyant sur un travail d'équipe. La foudre étant un phénomène électrique, elle implique naturellement le spécialiste électricité, mais aussi le responsable du procédé, le concepteur, l'exploitant de l'installation à protéger, et bien sûr le responsable de la sécurité des installations.

Pour utiliser ce document, il est recommandé de se munir de la norme NF C 17-100 et du guide UTE NF C 15-443, ces derniers étant pris souvent comme repère ou référence. En alternative, d'autres guides peuvent être pris en référence (par exemple le guide CEI 1662), dans la mesure où ils sont au moins équivalents à ceux précités.

Enfin, il convient de rappeler, comme précisé dans l'introduction de la norme NF C 17-100, que la mise en œuvre des recommandations de ce présent guide ne peut garantir une protection absolue contre la foudre, phénomène hautement aléatoire.

Dans les installations chimiques et pétrolières, les masses métalliques importantes et de formes complexes, reliées à la terre, sont autant d'éléments capteurs et la meilleure protection se fera en favorisant l'écoulement vers la terre. De par leur conception, elles constituent donc une très bonne protection (cages de Faraday), que l'on s'attachera à parfaire, lorsque c'est nécessaire.

Il est rappelé que, pour que la foudre entraîne des conséquences graves pour l'environnement et la sécurité, il faut réunir les trois conditions suivantes :

- présence d'une atmosphère inflammable,
- source d'ignition,
- conséquences de l'ignition inacceptables au sens de l'arrêté.

Ce guide annule et remplace les guides précédents :

- UIC de juin 1991 (DT18), ainsi que son complément d'octobre 1993.
- GESIP n° 94/02 de juillet 94

SOMMAIRE

1 - RAPPELS GENERAUX SUR LA Foudre ET SES EFFETS	9
1.1 - CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES DU COUP DE Foudre.....	9
1.2 - LES EFFETS DE LA Foudre.....	10
1.2.1 - EFFETS THERMIQUES	10
1.2.2 - MONTEES EN POTENTIEL DES PRISES DE TERRE	10
1.2.3 - EFFETS D'INDUCTION	10
1.2.4 - EFFETS ELECTRODYNAMIQUES.....	10
2 - APPROCHE SELECTIVE DES RISQUES DUS A L'IMPACT DE Foudre	12
2.1 - EFFETS DIRECTS.....	12
2.2 - EFFETS INDIRECTS	12
3 - DONNEES MINIMUM À PRENDRE EN COMPTE POUR L'ETUDE DU RISQUE Foudre	13
3.1 - EFFETS DIRECTS.....	13
3.2 - EFFETS INDIRECTS	13
4 - IDENTIFICATIONS DES CONSEQUENCES DU RISQUE LIE A LA Foudre ET DOMMAGES EVENTUELS A EVITER	14
4.1 - EFFETS DIRECTS.....	14
4.1.1 - DEVELOPPEMENT DES PHENOMENES	14
4.1.2 - DOMMAGES A EVITER.....	14
4.2 - EFFETS INDIRECTS	16
4.2.1 - POSTES ELECTRIQUES	16
4.2.2 - GENERATEUR ELECTRIQUE DE SECOURS	16
4.2.3 - SECURITES INSTRUMENTEES	16
5 - PRINCIPES GENERAUX DE PROTECTION	17
5.1 - RAPPEL DES PRINCIPES THEORIQUES.....	17
5.2 - VOLUME PROTEGE PAR UN DISPOSITIF DE CAPTURE.....	17
5.2.1 - APPLICATION DE LA METHODE DE LA SPHERE FICTIVE	17
5.2.2 - VOLUME PROTEGE PAR UNE TIGE DE CAPTURE VERTICALE	18
5.2.3 - VOLUME PROTEGE PAR UN FIL TENDU.....	19
5.2.4 - VOLUME PROTEGE PAR DES CONDUCTEURS MAILLES	20
5.3 - DISPOSITION DE PRINCIPE POUR CANALISER L'ONDE DE Foudre VERS LA TERRE.....	20
5.3.1 - CONSTITUTION D'UN DISPOSITIF DE CAPTURE	20
5.3.2 - EQUIPOTENTIALITE DES MASSES METALLIQUES.....	21
5.3.3 - MISE A LA TERRE	21
6 - TECHNIQUES DE PROTECTION	24
6.1 - PROTECTION DES STRUCTURES.....	24
6.1.1 - STRUCTURES A OSSATURE METALLIQUE	24
6.1.2 - RACKS DE TUYAUTERIES	24

6.1.3 - RESERVOIRS ET BACS DE STOCKAGE	24
6.1.4 - PIPELINES ET CANALISATIONS DE TRANSPORT	26
6.1.5 - COLONNES	26
6.1.6 - BATIMENTS NON METALLIQUES	26
6.1.7 - CHEMINEES.....	27
6.1.8 - CHATEAUX D'EAU	27
6.1.9 - ANTENNES	27
6.2 - PROTECTION DES MATERIELS ELECTRIQUES ET ELECTRONIQUES	32
6.2.1 - PROTECTION DES POSTES ELECTRIQUES EXTERIEURS HAUTE TENSION (HTB)	32
6.2.2 - PROTECTION DES RESEAUX D'ALIMENTATION DES EQUIPEMENTS A COURANT FAIBLE.....	32
<u>7 - ETUDE ET VERIFICATION DE L'EFFICACITE DES PROTECTIONS</u>	<u>34</u>
7.1 - EFFETS DIRECTS.....	34
7.2 - EFFETS INDIRECTS	34
<u>8 - VERIFICATION ET MAINTENANCE</u>	<u>35</u>
<u>9 - REGLEMENTS ET NORMES</u>	<u>36</u>
9.1 - REGLEMENTS	36
9.2 - NORMES ET REFERENTIELS UTILISABLES	36
9.2.1 - NORMES FRANÇAISES	36
9.2.2 - NORMES INTERNATIONALES.....	36
9.3 - DOCUMENTS AYANT VALEUR DE NORME	37
<u>10 - BIBLIOGRAPHIE</u>	<u>38</u>
<u>ANNEXES</u>	<u>39</u>
ANNEXE 1	41
ANNEXE 2	43
ANNEXE 3	53

1 - RAPPELS GENERAUX SUR LA FOUDRE ET SES EFFETS

Le présent chapitre ne traite pas dans le détail du phénomène de la foudre qui fait l'objet de nombreux ouvrages, publications et articles techniques.

On ne retiendra ci-après que les caractéristiques fondamentales à connaître, ainsi que les effets qui en résultent.

1.1 - CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES DU COUP DE FOUDRE

Un coup de foudre est composé en général de plusieurs décharges électriques, s'écoulant par le même canal ionisé. Les principales caractéristiques d'un coup de foudre sont les suivantes :

- Durée totale : 0,2 à 1 seconde.
- Nombre de décharges : 4 en moyenne.
- Courant : 2 000 à 200 000 ampères (50% des coups de foudre < 20 000 A).
- Quantité de charges injectées : 5 à 200 Coulombs.
- Valeur maximale dI/dt : 40 000 à 150 000 ampères par microseconde.
- Durée locale d'un orage : 2 heures maximum.
- Etendue du spectre : le courant de décharge a une fréquence de quelques MHz ; elle peut atteindre quelques GHz.
- Exemple d'onde de foudre : Voir courbe en figure 1.1 ci-après

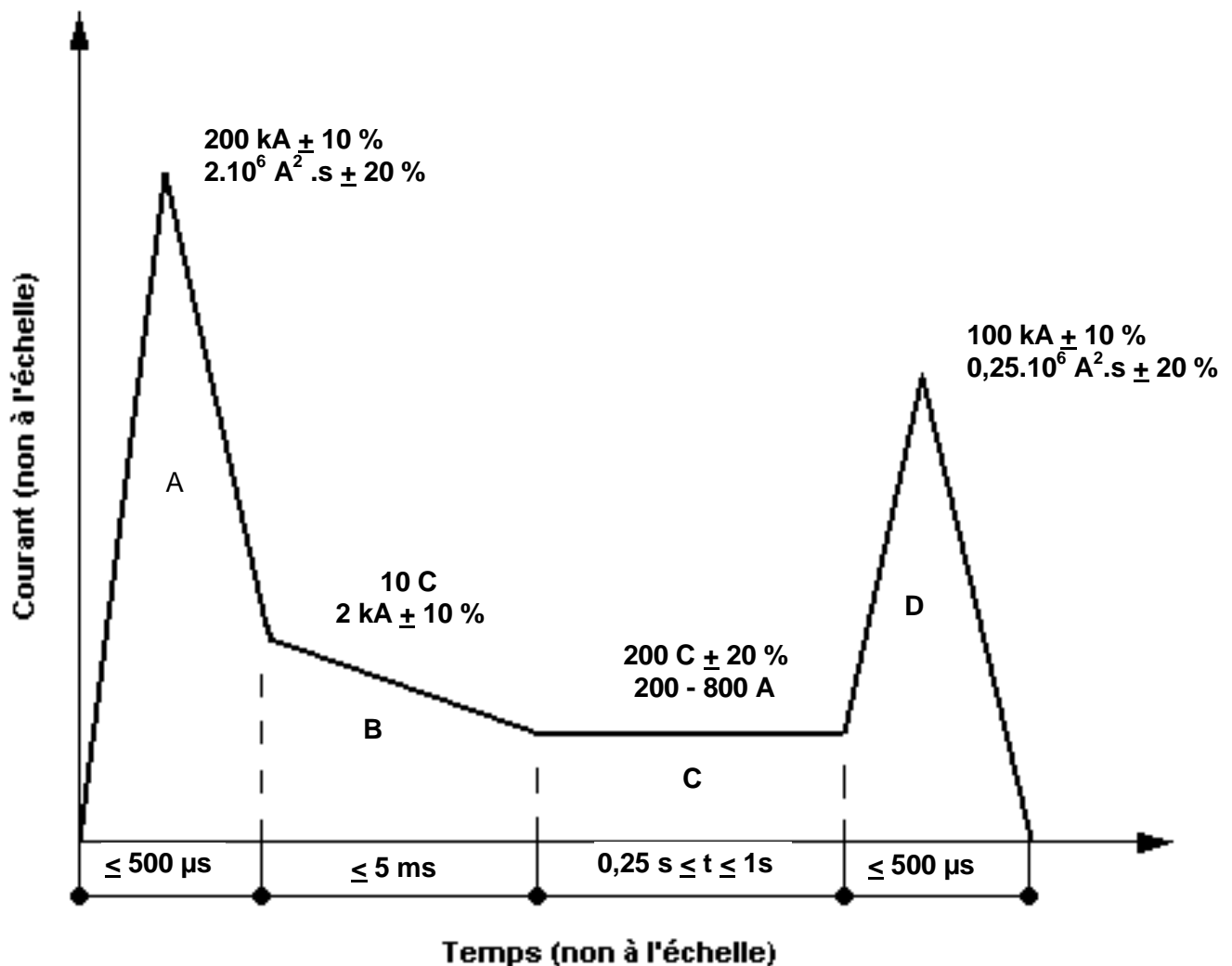


Fig. 1.1 : Représentation d'un coup de foudre négatif

1.2 - LES EFFETS DE LA FOUDRE

La foudre va sur une installation conduire à deux types de phénomènes physiques qui pourront être à l'origine d'effets au niveau des installations. Le premier type résulte de la connexion de la foudre sur la structure (effet d'arc), et conduit à des effets thermiques, tandis que le deuxième résulte de l'écoulement d'un courant électrique, et conduit donc aux mêmes conséquences que tout autre courant électrique.

1.2.1 - Effets thermiques

Ils sont liés d'une part à l'effet d'arc, et c'est la quantité de charge transmise à la structure qui est le paramètre important, et d'autre part à la circulation d'un courant conduisant à un effet Joule (RI^2t).

- Dans les conducteurs de faible section ou dans les tôles de faible épaisseur, ils peuvent en provoquer la fusion.
- Dans les mauvais conducteurs (bois, béton,...), ils peuvent provoquer l'éclatement par vaporisation de l'eau incluse.

1.2.2 - Montées en potentiel des prises de terre

Le courant de foudre présentant des fronts de montée très raide, les impédances du circuit de raccordement à la prise de terre et la prise de terre elle-même, deviennent prépondérantes. Les montées en potentiel qui en résultent se traduisent :

- par des amorçages avec les objets métalliques voisins non reliés directement à ce circuit (risques d'inflammation, d'explosion,...) ;
- par des destructions d'équipements électriques ou électroniques d'un niveau d'isolement trop faible.

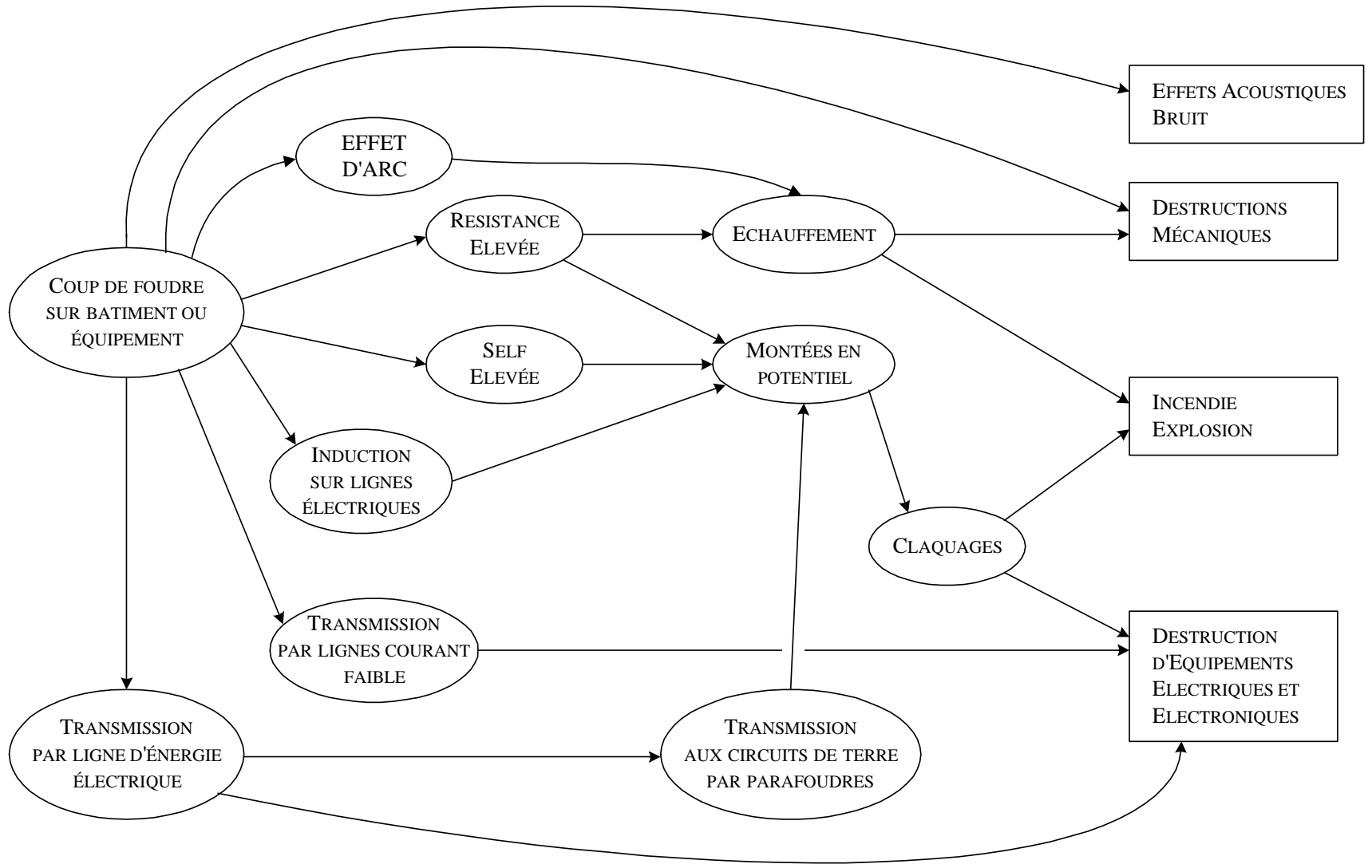
1.2.3 - Effets d'induction

Des courants induits peuvent apparaître dans les conducteurs parallèles à ceux écoulant le courant de foudre et/ou dans les boucles de "mode commun". Ces courants vont eux-mêmes générer des montées en potentiel entraînant le même type d'inconvénients que ceux décrits ci-avant.

1.2.4 - Effets électrodynamiques

L'amplitude des courants dans les différents circuits peut générer des forces d'attraction ou de répulsion susceptibles d'entraîner des déformations ou des ruptures.

Le schéma bloc de la page suivante illustre les différents effets de la foudre et leur enchaînement.



LES EFFETS DE LA Foudre

FOUDRE.VSD

2 - APPROCHE SELECTIVE DES RISQUES DUS A L'IMPACT DE Foudre

2.1 - EFFETS DIRECTS

Les effets directs regroupent toutes les perturbations liées à l'impact direct du coup de foudre. Ces perturbations sont dues à la circulation d'un courant de forte intensité dans les installations ou tout équipement situé entre le point d'impact et le point d'évacuation de l'énergie de la foudre vers la terre.

Du point de vue des conséquences, on peut distinguer :

- les effets thermiques : perforation des structures et des câblages au point d'impact, fusions locales le long du parcours du courant, destruction d'équipements électriques, électroniques et antennes, explosion et délaminage des structures composites, en particulier au niveau des interfaces avec le métal, déclenchement des systèmes pyrotechniques et explosion de matières inflammables en raison d'amorçages ;
- les effets électrodynamiques : déformation mécanique des structures métalliques, explosion d'ouvrages en béton armé, efforts électrodynamiques, liés ou non aux courants de fuite à fréquence industrielle sur des conducteurs et pouvant conduire à des défauts ;
- les effets physiologiques sur l'homme et les animaux liés à l'impact de la foudre, les tensions de toucher et les tensions de pas ;
- les effets électrochimiques (décomposition galvanique), et acoustiques (tonnerre) qui ont peu de conséquences sont cités pour mémoire.

Par ses effets directs, la foudre peut donc provoquer des dommages tels que perçage, inflammation, éclatement, etc.

Le principe retenu consiste à s'assurer que les structures susceptibles d'être impactées sont aptes à résister à ces impacts, et qu'à partir des points de capture, le courant de foudre s'écoule à la terre sans dommage.

2.2 - EFFETS INDIRECTS

Ils sont essentiellement dus aux phénomènes électromagnétiques créés par la circulation d'un courant de foudre. Ces effets se traduisent par des courants et des surtensions induits dans les circuits électriques et électroniques. Tous les systèmes électroniques, surtout quand ils sont reliés entre eux ou à des éléments éloignés par une filerie plus ou moins longue, caprice de surtension, sont visés par les phénomènes d'induction. Par ses effets indirects, la foudre peut entraîner une défaillance :

- des systèmes d'alimentation en énergie électrique (interruption d'alimentation) ;
- des systèmes de conduites des unités de fabrication (perte de contrôle) ;
- des systèmes de mise en sécurité des unités de fabrication ;
- des systèmes de communication (perte d'information et de mesures) ;
- etc ...

Mais, généralement, ces défaillances ne sont pas spécifiques à la foudre et sont déjà normalement prises en compte dans l'étude de dangers effectuée au titre de la réglementation des installations classées, par exemple :

- défaillance d'un élément de réseau (transformateur, onduleur) ;
- court-circuit sur un élément de réseau (câble, moteur) ;
- surtension liée à d'autres origines (manœuvre, résonance...) ;
- feu dans une partie d'unité ;
- etc...

Cette approche sélective doit permettre la constitution d'un dossier d'étude, tel que décrit au chapitre suivant.

3 - DONNEES MINIMUM À PRENDRE EN COMPTE POUR L'ETUDE DU RISQUE Foudre

3.1 - EFFETS DIRECTS

Les éléments à réunir sont :

- la densité de foudroiement (N_g = fréquence d'impacts / an / km²);
- la liste des installations ⁽¹⁾ et équipements concernés, bâtiments ;
- les plans d'implantation et de structure ;
- les plans de zone à risque de présence d'atmosphère explosive ;
- les plans de circuit de terre ;
- la liste et la nature des produits, matières et fluides stockés ou véhiculés ;
- la nature des matériaux constituant les bâtiments et structures ainsi que le contenu de ceux-ci ;
- l'occupation des structures.

Toutes ces informations permettent d'utiliser la norme NF C 17-100 en vigueur, qui traite de la protection des structures contre la foudre (voir chapitre 6).

3.2 - EFFETS INDIRECTS

Les éléments susceptibles d'être passés en revue dans le cadre de l'étude de danger peuvent être :

- la liste des éléments importants pour la sécurité (cf. document technique UIC DT 65) par exemple :
 - vannes de sécurité,
 - groupe de secours,
 - chaînes de sécurité instrumentées,
 - etc...;
- le dossier des alimentations de ces équipements (schéma, nature, mode d'action, implantation, redondance, autonomie, etc...);
- les documents explicitant la mise à la terre de ces équipements et de leurs liaisons.

Ces informations permettent d'utiliser le guide UTE-NF C 15-443 qui traite de la mise en œuvre des parafoudres.

¹ Rappel : uniquement ceux ou celles soumises à autorisation au titre de la législation des installations classées telles que définies à l'article 1 de l'arrêté du 28 janvier 1993 et son annexe 1.

4 - IDENTIFICATIONS DES CONSEQUENCES DU RISQUE LIE A LA FOUDRE ET DOMMAGES EVENTUELS A EVITER

Dans ce chapitre, le **guide illustre par quelques exemples**, accompagnés de suggestions et de solutions, les principales questions de principe abordées régulièrement lors de l'identification du risque foudre. Toutefois, les solutions proposées ne sont pas exhaustives et n'ont pas de caractère obligatoire, au sens strict du terme. Par exemple, il est possible d'admettre le perçage d'un réservoir existant, équipé d'une cuve de rétention, s'il n'y a pas de conséquences graves pour la sécurité des personnes ou la qualité de l'environnement.

Bien évidemment, les décisions finales appartiennent à l'exploitant de l'installation.

4.1 - EFFETS DIRECTS

4.1.1 - Développement des phénomènes

Les effets directs peuvent avoir pour conséquence des incendies et des explosions. Pour cela, il faut qu'il y ait présence d'un mélange vapeur inflammable/air dans les limites d'inflammabilité et production d'une source d'énergie suffisante, dite " énergie d'activation ".

Cette source d'énergie peut provenir :

- d'un **point chaud** pouvant provoquer la fusion locale du métal avec projection de particules en fusion susceptibles d'allumer la phase vapeur ;
- d'un **arc électrique** pouvant se produire entre deux parties métalliques voisines présentant une différence d'impédance entre elles. Il se produit alors une décharge électrique provoquée par une différence de potentiel.

4.1.2 - Dommages à éviter

4.1.2.1 - Perçage de tuyauterie et de réservoir

Sous réserve d'une mise à la terre correcte, les réservoirs et tuyauteries métalliques, dont les épaisseurs sont supérieures aux valeurs indiquées dans le tableau ci-dessous, peuvent assurer la capture et l'écoulement des courants de foudre, sans risque de perçage ou de point chaud.

(Extrait de la NF C 17-100)

Niveau de protection	Matériau à base de	Epaisseur
1 à 4	Fe	4 mm
	Cu	5 mm
	Al	7 mm

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

Les tôles de calorifuge, pour lesquelles un perçage est admis, peuvent assurer une protection contre les effets directs, si leur épaisseur est supérieure aux valeurs indiquées dans le tableau suivant :

(Extrait de la NF C 17-100)

	Acier galvanisé	Acier inox	Cuivre	Al/Zn
Tôle	0,5 mm	0,4 mm	0,5 mm	0,7 mm

Par principe, les réservoirs et tuyauteries non métalliques (résine, polymère...) n'attirent pas la foudre (pour les principes de protection, cf. § 6.1.6). En général, les équipements environnants annexes (escaliers, échelles, passerelles, racks,...) ont un dimensionnement suffisant pour capter et canaliser les courants de foudre.

4.1.2.2 - Joints de tuyauteries

Le montage classique d'un joint, quelle que soit sa nature, entre deux brides métalliques boulonnées, ne présente aucun risque de détérioration en cas de passage d'un courant de foudre.

Les boulons, même si la tuyauterie est peinte, assurent le passage du courant. **Dans les zones à risque d'explosion de niveau 1**, il convient de vérifier que la continuité est bien assurée.

Pour les réservoirs et les tuyauteries enterrées sous protection cathodique, se reporter au § 6.1.3.3.

4.1.2.3 - Les événements

Nota : cela est valable pour les rejets de soupape à l'atmosphère

Les événements sont généralement situés dans les parties supérieures des installations, et se trouvent, de ce fait, particulièrement exposés aux impacts de foudre.

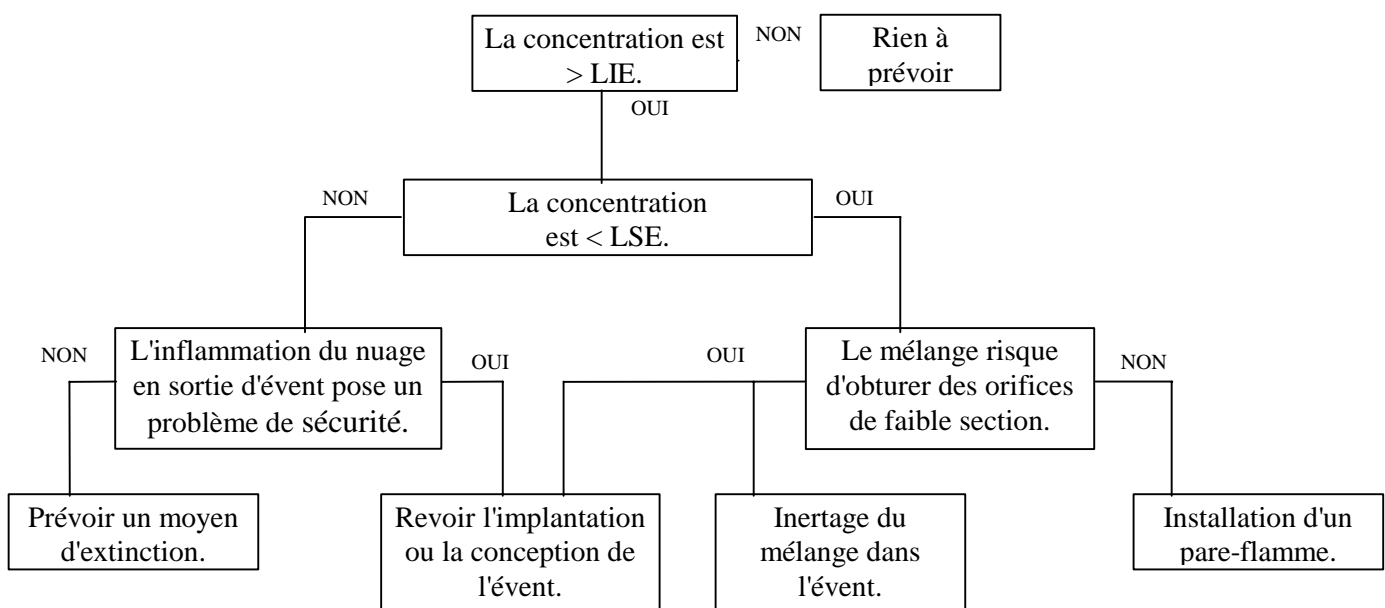
Suivant la nature du rejet, les conséquences d'un amorçage dans leur voisinage peuvent être plus ou moins graves :

- si le mélange, avant rejet à l'atmosphère, se situe entre la LIE et la LSE, il peut y avoir propagation de l'explosion au cœur des circuits procédé ;
- si le mélange, avant rejet à l'atmosphère, est supérieur à la LSE, l'inflammation ou l'explosion qui peut se produire à la sortie de l'événement peut avoir des conséquences éventuellement dommageables (effets thermiques ou onde de surpression).

S'il s'avère nécessaire d'éviter ces scénarios, plusieurs solutions sont possibles en fonction des caractéristiques et des risques que présente l'installation, en particulier :

- prévoir des moyens d'extinction ;
- installer un pare-flamme en sortie d'événement pour éviter la propagation de l'inflammation vers le procédé. Le mélange ne doit pas risquer de colmater le pare-flamme (produit polymérisant au contact de l'humidité de l'air par exemple) ;
(**NB** : cette solution n'évite pas l'inflammation en sortie d'événement)
- inerte ou diluer le mélange explosif dans l'événement ;
- revoir l'implantation ou la conception de l'événement.

LES EVÉNEMENTS



4.1.2.4 - Structures non conductrices

Il s'agit des structures utilisant des matériaux tels que, le béton, la brique, la pierre, les tuiles, le bois etc... Dans tous les cas il faudra évaluer les conséquences secondaires de l'impact de foudre, par exemple :

- éclats pour le béton non armé ;
- dislocation pour la brique, la pierre et les tuiles ;
- éclatement pour le bois massif et délaminage pour le bois lamellé-collé, avec risque d'inflammation.

Une protection s'impose en cas de conséquence grave.

4.2 - EFFETS INDIRECTS

Les effets indirects se manifestent au niveau de l'installation à protéger :

- soit par des surtensions provenant du réseau d'alimentation,
- soit par des surtensions induites dans les boucles constituées naturellement par les réseaux de câbles et les mises à la terre associées.

4.2.1 - Postes électriques

La perte de(s) l'alimentation(s) étant prise en compte normalement dans l'étude de dangers, il n'y a pas de disposition complémentaire à prévoir.

4.2.2 - Générateur électrique de secours

Lorsque le générateur de secours est un équipement indispensable aux systèmes de protection prévus dans l'étude de dangers, il est nécessaire d'étudier et, le cas échéant, de mettre en œuvre des protections spécifiques contre les effets de la foudre.

4.2.3 - Sécurités instrumentées

La nécessité de protection complémentaire pour les sécurités instrumentées dépendra de leur criticité, de leur conception, de leur redondance et de leur technologie. Par exemple, des systèmes de type à sécurité positive ne nécessiteront pas de protection particulière.

5 - PRINCIPES GENERAUX DE PROTECTION

5.1 - RAPPEL DES PRINCIPES THEORIQUES

Il est important de garder en permanence présent à l'esprit que la foudre est un phénomène électrique véhiculant des courants forts (jusqu'à plusieurs milliers d'ampères), avec un spectre étendu de fréquences (de quelques MHz jusqu'au GHz).

La foudre, en tant que phénomène électrique, a donc les mêmes conséquences que tout autre courant circulant à travers un bon ou un mauvais conducteur (effets thermiques, surtensions et amorçages, induction).

La protection foudre est basée sur les principes théoriques suivants :

- canalisation des courants de foudre vers la terre par le trajet le plus direct et le moins dangereux possible (captation, canalisation et évacuation de l'énergie), Ne pas chercher à attirer la foudre par l'addition systématique de dispositifs de capture,
- équipotentialité (maillage, réduction des boucles inductives...),
- limitation de l'élévation des potentiels de masse (réseau de terre), limitation de l'onde de surtension (limitation des impédances, parafoudre, éclateur ou toute autre solution) pour éviter que la surtension résiduelle n'affecte les équipements sensibles (électronique, informatique).

**L'équipotentialité est l'élément fondamental d'une bonne protection.
La cage de Faraday est le meilleur dispositif de capture à privilégier.**

La mise en œuvre de ces principes théoriques devra tenir compte de l'existant et de la gestion des autres risques inhérents à l'installation.

Si une protection efficace ne peut être mise en œuvre, l'arrêt de certaines opérations génératrices de "zone de niveau 1" peut être un moyen de protection. Par exemple : arrêt des opérations d'emportage (ou de déchargement) de camions ou de wagons.

5.2 - VOLUME PROTEGE PAR UN DISPOSITIF DE CAPTURE

(Extraits partiels de la norme NF C 17-100)

5.2.1 - Application de la méthode de la sphère fictive

Elle introduit la notion de "distance d'amorçage" définie par la relation

$$d = 10 I^{2/3}$$

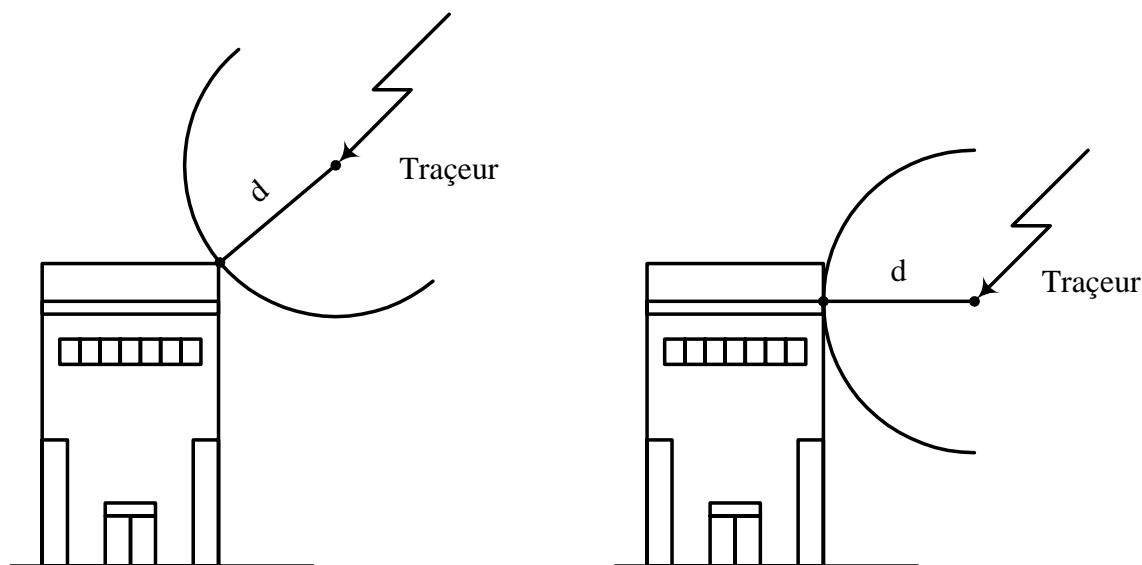
où "d", exprimé en mètres, est la distance séparant la tête du traceur (canal ionisé précédant le coup de foudre) du sol, ou d'un objet mis à la terre, et I, exprimé en kA, est l'intensité présumée du courant de décharge. La distance d'amorçage, en fonction du niveau de protection recherché, est indiquée dans le tableau des résultats de l'annexe B de la norme NF C 17-100 (décembre 97).

Tout se passe donc comme si la pointe du traceur (canal ionisé précédant le coup de foudre) était entourée d'une SPHERE FICTIVE, de rayon R, centrée sur ladite pointe.

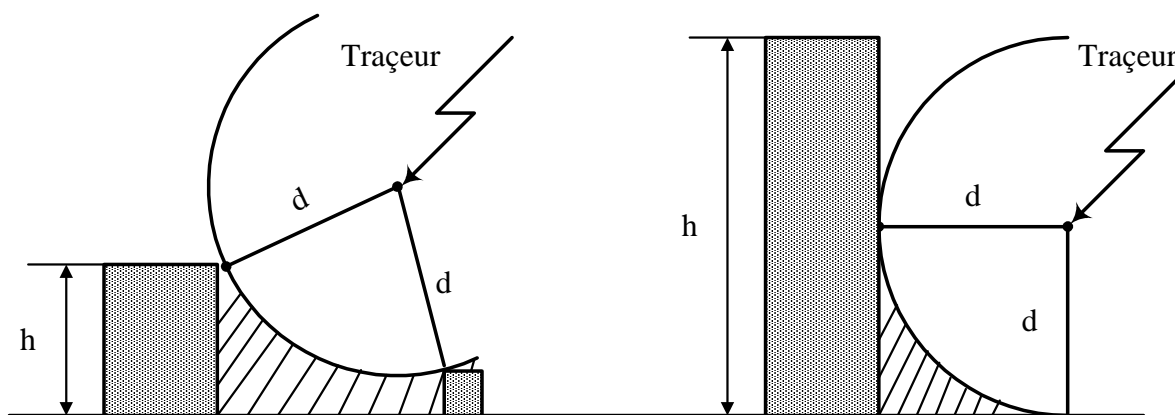
Niveau	I	II	III	IV
Rayon sphère fictive R(m)	20	30	45	60

Selon ce modèle, c'est donc l'objet qui se trouvera le premier à la "distance d'amorçage" (d) de la pointe du traceur, c'est-à-dire en contact avec la sphère de R = d, qui constituera le point d'impact du coup de foudre.

Comme le montrent les 2 croquis ci-dessous, le point d'impact n'est pas nécessairement le point le plus élevé d'une structure.

Fig. 5.1 (§ 5.2.1) - *Exemples de points d'impact*

Si l'une quelconque des sphères fictives entre en contact avec un des objets à protéger avant d'entrer en contact avec le dispositif de protection (tige verticale, fil horizontal, nappe de fils, cage de Faraday), la protection de cet objet n'est pas assurée, et il y aura lieu de remanier le dispositif de protection envisagé.



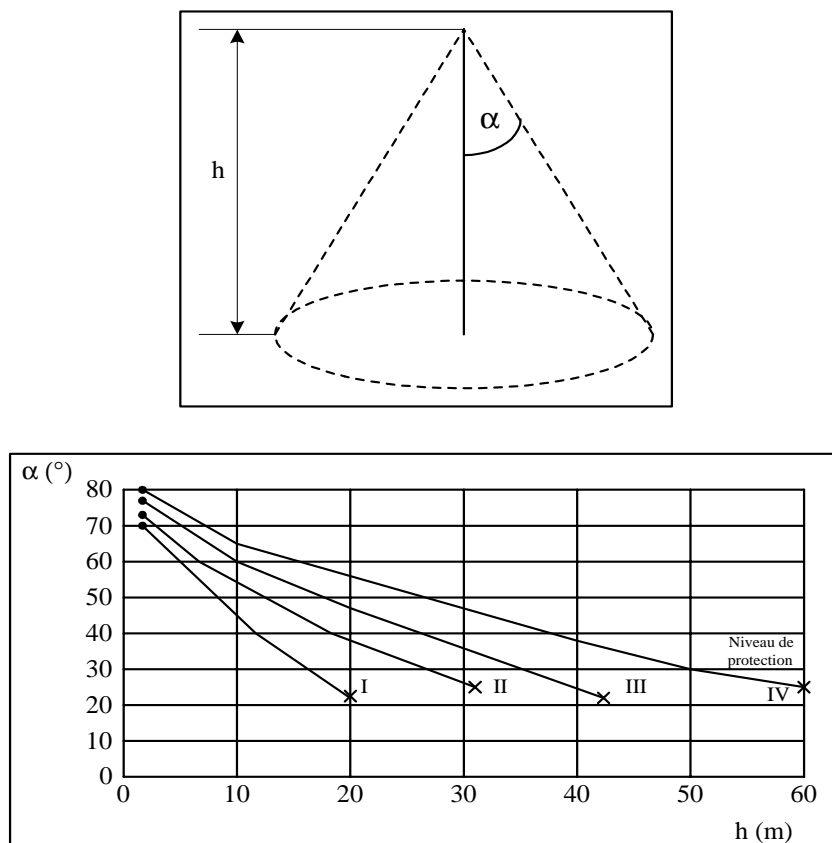
*Exemples de zones de protection (parties hachurées) engendrée par une structure conductrice de hauteur h pour un courant I , c'est-à-dire pour une distance d'amorçage d .
(La zone de protection générée a évidemment une symétrie de révolution).*

5.2.2 - Volume protégé par une tige de capture verticale

(Reprise de l'annexe A de la NF C 17-100, page 29)

Le volume protégé par une tige de capture verticale est considéré comme ayant la forme d'un cône droit, d'axe la tige de capture et de demi-angle conforme aux valeurs du tableau 3 ⁽²⁾ (fonction du niveau de protection et de hauteur la hauteur du dispositif de capture).

Fig. 5.2 (§ 5.2.2) - *Cône de protection par tige verticale*



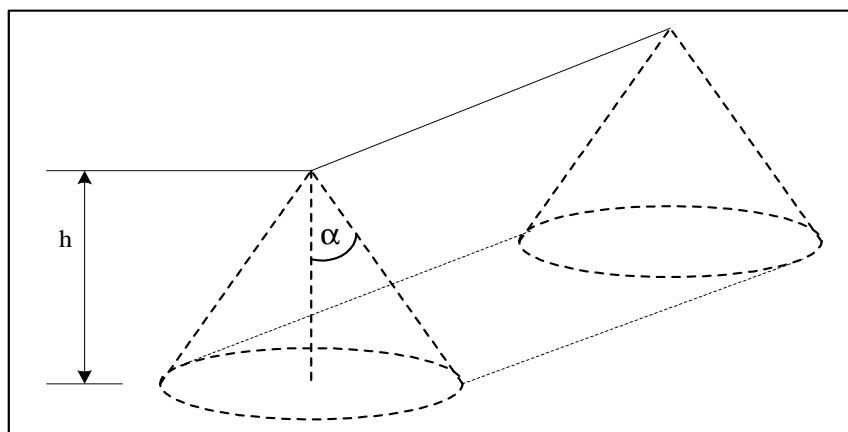
Notes :

1. Non applicable au-delà des valeurs marquées d'une croix. Seules les méthodes de la sphère fictive et des mailles sont applicables dans ce cas.
2. h est la hauteur du dispositif de capture au-dessus du volume à protéger.

5.2.3 - Volume protégé par un fil tendu

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

Fig. 5.3 (§ 5.2.3) - *Volume de protection par fil tendu*

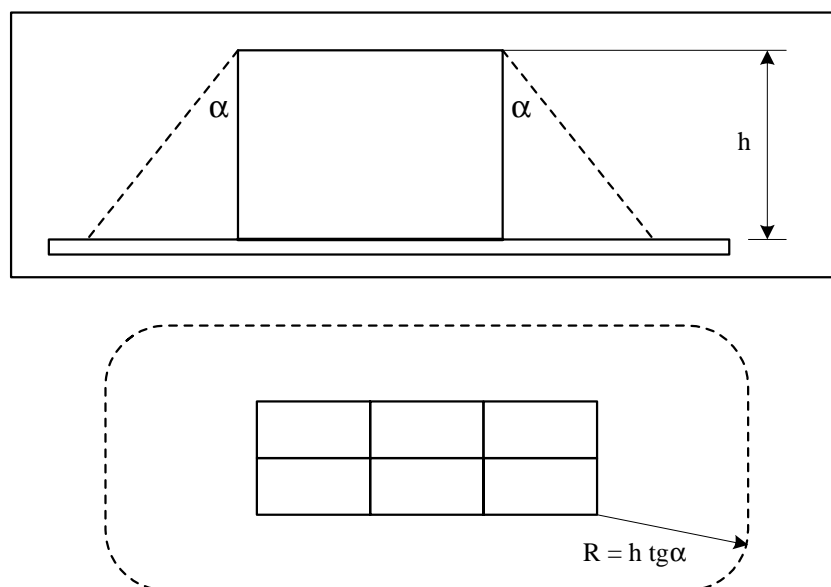


5.2.4 - Volume protégé par des conducteurs maillés

Le volume protégé par des conducteurs maillés est défini par :

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

Fig. 5.4 (§ 5.2.4) - *Volume de protection par maillage*



5.3 - DISPOSITION DE PRINCIPE POUR CANALISER L'ONDE DE FOUDRE VERS LA TERRE

Rappel des principes de base :

- assurer la capture,
- assurer l'équipotentialité des masses, par interconnexion des éléments susceptibles d'évacuer l'énergie du courant de foudre vers la terre
- assurer la mise à la terre.

5.3.1 - Constitution d'un dispositif de capture

5.3.1.1 - Constitution d'une cage de Faraday

Constituer une cage de Faraday est la solution la mieux adaptée pour assurer la protection contre la foudre. Quelques exemples de cage de Faraday sont représentés sur la figure 5.7, page 23.

Tous bâtiments, structures d'unité, racks de tuyauteries, cheminements métalliques, réservoirs de stockages, colonnes, etc., s'ils ont une ossature métallique, constituent en eux-mêmes une cage de Faraday.

Dans le cas de structures non métalliques telles que bâtiments, hangars, abris, etc., on pourra réaliser une cage de Faraday comme indiqué sur la figure 5.7, page 23.

Les structures en béton armé constituent une cage de Faraday si la continuité électrique est assurée conformément aux conditions requises par la norme NF C 17-100 (§ 1.3).

Les cages de Faraday ainsi constituées doivent être reliées impérativement au réseau de terre.

5.3.1.2 - Paratonnerres

Pour éviter d'accroître le risque de foudroiement et de perturbations électro-magnétiques, on doit privilégier la constitution d'une cage de Faraday et éviter l'addition d'un paratonnerre.

Cependant, lors de la mise en conformité ou de la modification d'une installation existante, il est parfois impossible de réaliser une cage de Faraday efficace à un coût acceptable (par exemple dans des zones ouvertes sans structures métalliques).

Dans ces cas uniquement, la mise en place d'un paratonnerre sur un point haut peut être une réponse technique satisfaisante.

L'inconvénient majeur des paratonnerres réside dans l'écoulement du courant de foudre qui, lorsqu'il s'effectue dans une seule descente, génère un champ électromagnétique pouvant perturber les équipements électriques. Pour minimiser cet effet, il convient d'augmenter le nombre de descentes.

Les normes différencient les paratonnerres à pointes sèches (NF C 17-100), des paratonnerres à dispositifs d'amorçage ou PDA (NF C 17-102).

Selon la norme, les PDA ont un volume de protection plus important, ce qui offre un avantage en termes de zone de couverture, mais présente l'inconvénient d'augmenter le risque de foudroiement sur le paratonnerre (augmentation de la zone équivalente de capture) et donc d'augmenter le risque de perturbation sur les systèmes électriques et de contrôle commande.

Les PDA comportant des composants actifs doivent faire l'objet de vérifications périodiques afin de s'assurer du maintien de leurs performances.

Note : plusieurs sociétés proscrivent l'utilisation de PDA.

5.3.1.3 - Fils tendus

Ce principe de capture utilisé pour la protection de certains ouvrages électriques peut être employé dans certains cas particuliers tels que les zones ouvertes, en solution alternative, si nécessaire (bassins de décantation, parc à fûts, etc.).

5.3.2 - Equipotentialité des masses métalliques

Les masses métalliques telles que charpentes, armatures, chemins de roulement des ponts roulants, châssis de machines, réservoirs, silos, événements, canalisations, chemins de câbles, etc. doivent être interconnectées et reliées électriquement à la terre (voir à titre indicatif un exemple en figure 5.5, page 22). On crée ainsi dans chaque structure, en prenant en compte les composants conducteurs naturels, un ensemble équipotentiel et maillé relié au réseau de terre.

Dans sa mise en œuvre et en particulier pour les tuyauteries de toute nature, l'équipotentialité sera d'autant plus rigoureuse que la zone considérée sera dangereuse.

Pour le cas où l'on utilise des dispositifs de capture complémentaires, on vérifiera la distance de sécurité conformément au § 3.1.2 de la NF C 17-100.

Exemple de calcul de la distance de sécurité : S (m)

$$S(m) = n \frac{ki}{km} l = 1 \cdot \frac{0,1}{1} \cdot 10 = 1 \text{ mètre}$$

Soit S = 1 m pour 10 m de descente

*n = 1 pour une descente
ki = 0,1 pour niveau I
km = 1 pour l'air
l = 10 mètres de descente*

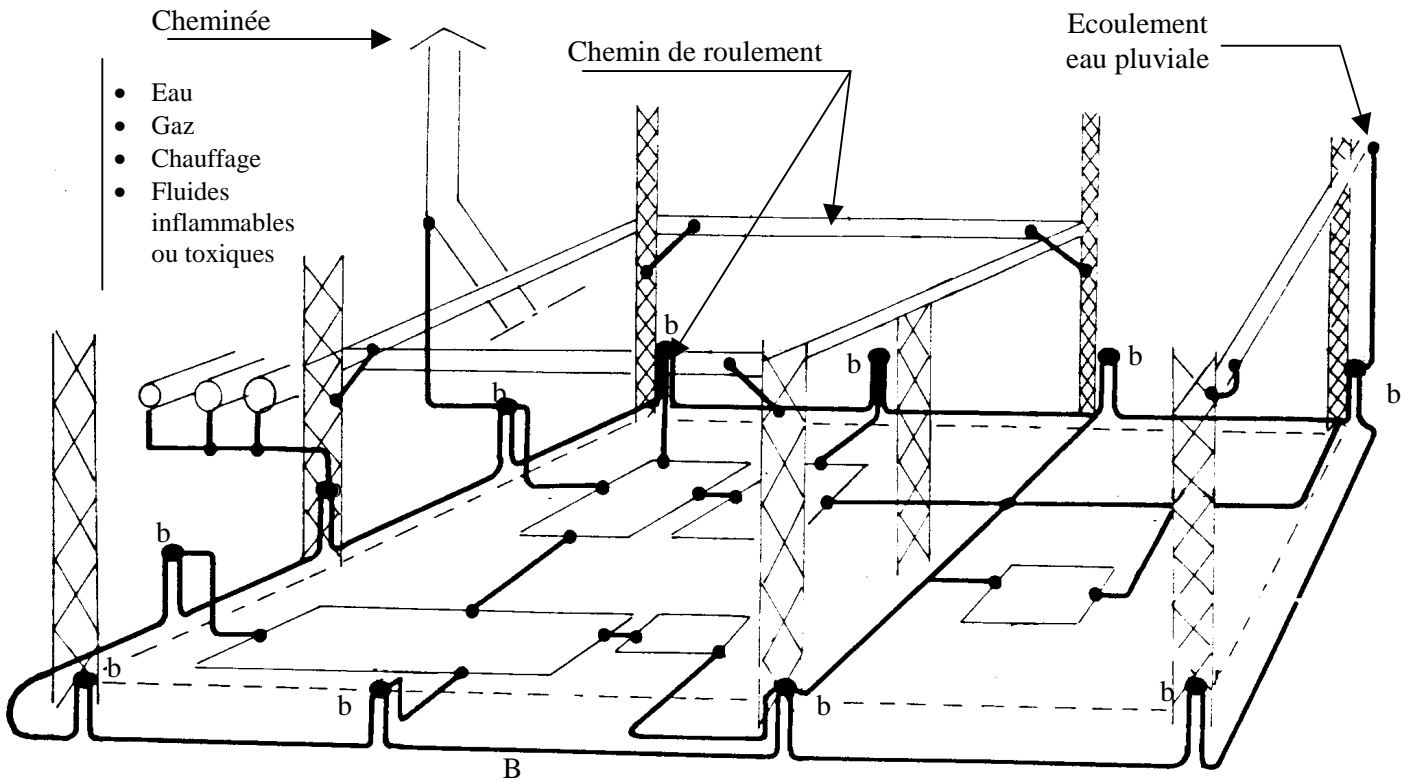
5.3.3 - Mise à la terre

On constituera à fond de fouille un réseau de terre unique et maillé (voir figures 5.5 à 5.7, pages 22-23) afin :

- d'établir un chemin privilégié que doivent suivre les courants de foudre pour être évacués ;

- de créer une zone équipotentielle pour que la circulation d'un courant élevé ne donne pas lieu à l'apparition de potentiels transitoires dangereux ;
- de fixer le potentiel de référence pour les écrans et les blindages.

Fig. 5.5 (§ 5.3.2) - Exemple de réseau équipotentiel (plan de masse)



LEGENDE :

- b : Borne ou barrette.
- B : Boucle de terre en tranchée.

Fig. 5.6 (§ 5.3.3) - Constitution d'un réseau maillé à partir de boucles élémentaires

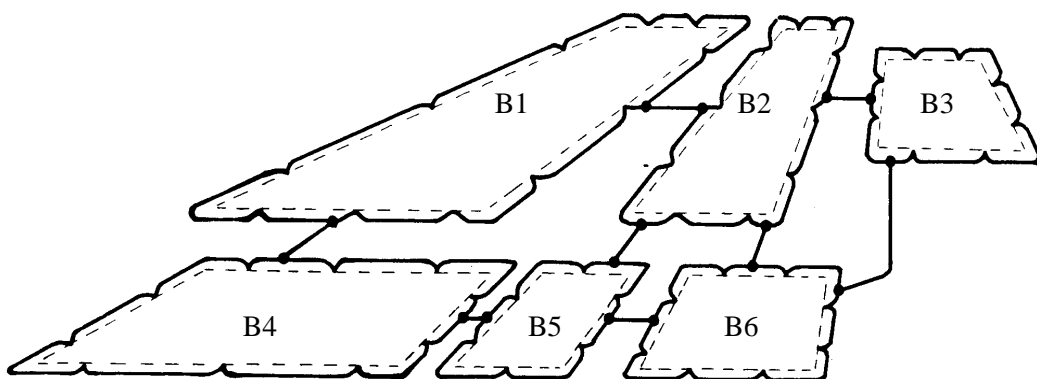
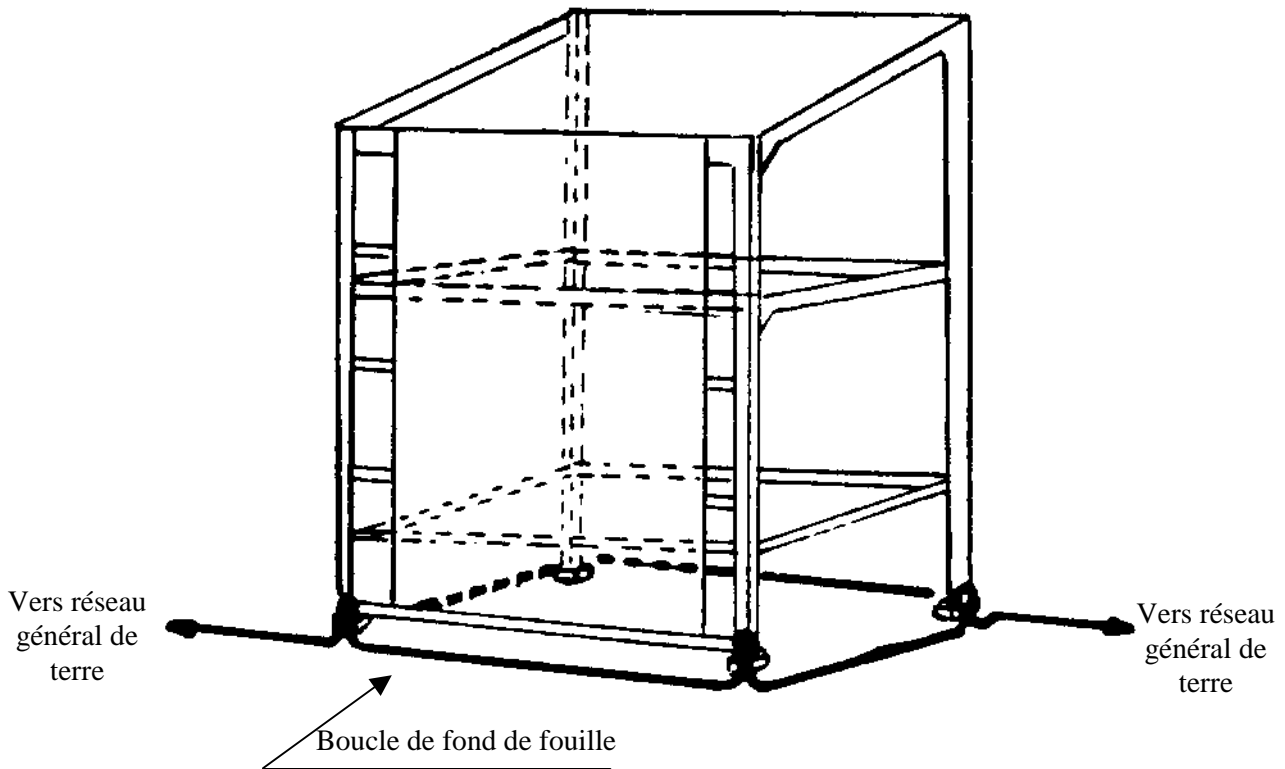
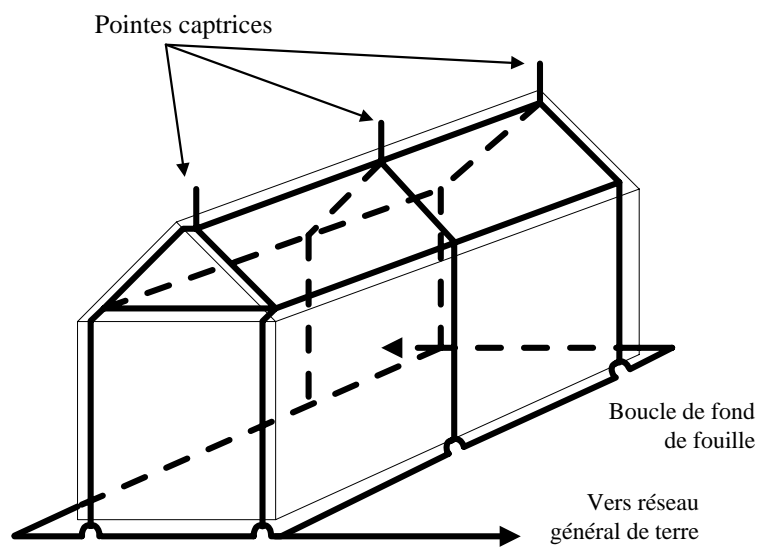


Fig. 5.7 (§ 5.3.3) - *Exemples de cage de Faraday*

A - Bâtiments industriels avec ossature métallique



B - Bâtiments non métalliques



6 - TECHNIQUES DE PROTECTION

Les effets indésirables de la foudre se manifestent sous des formes variables selon les circonstances :

- dommages sur les structures des constructions ;
- inflammation ou explosion des produits dangereux ;
- perturbations préjudiciables dans les réseaux et les installations électriques .

Les moyens pour s'en prémunir sont décrits ci-après.

Tous les principes indiqués ci-après sont conseillés pour les unités ou infrastructures à concevoir. Pour l'existant, toute autre solution permettant d'approcher ou d'égaliser le résultat recherché, est bien évidemment à retenir. (Exemple : il serait contraire au bon sens de mettre en péril l'étanchéité d'une fosse de rétention pour rejoindre le réseau de terre maillé).

6.1 - PROTECTION DES STRUCTURES

Une unité chimique ou pétrolière est constituée d'un ensemble de structures et d'installations dont la figure 6.1 donne un aperçu non exhaustif.

Le principe de protection par écoulement à la terre de la foudre, tel que décrit au chapitre précédent, donne lieu à différentes solutions pratiques suivant le type de structure à protéger.

6.1.1 - Structures à ossature métallique

Toute ossature métallique, y compris les bâtiments équipés de bardage en matériaux non conducteurs, constitue de fait une cage de Faraday (voir 5.3.1), l'ensemble étant mis à la terre comme indiqué sur la figure 6.2.

En cas d'impact de foudre sur le bardage, on peut admettre quelque dommage, si l'écoulement dans l'ossature s'effectue au travers de celui-ci, sous réserve que cette dégradation n'ait pas d'autres conséquences graves.

6.1.2 - Racks de tuyauteries

Les racks de tuyauteries sont constitués généralement par une ossature métallique. Il convient au minimum de relier à chaque extrémité un poteau au conducteur de terre placé à fond de fouille.

Cependant, en fonction du risque que présentera le foudroiement du rack, l'écoulement du courant de foudre pourrait être complété par une mise à la terre d'un certain nombre d'autres poteaux par réseau ou pattes d'oie (comme indiqué sur la figure 6.3).

6.1.3 - Réservoirs et bacs de stockage

6.1.3.1 - Règles applicables à tous types de réservoirs de stockage suivant § 2.4.2.3 de la NF C 17-100

Mise à la terre

Dans le but d'écouler les charges dues aux effets de la foudre et d'éviter leur montée en potentiel, les réservoirs de stockage doivent être mis à la terre selon une des méthodes suivantes :

- a) pour une structure ou un réservoir connecté, sans joint isolant, à un réseau de canalisations, la mise à la terre est assurée par ce réseau de canalisations si lui-même est mis à la terre.
- b) pour un réservoir cylindrique posé directement sur le sol ou sur de la grave, si son diamètre est au moins égal à 6 m, ou posé sur un revêtement bitumé, si son diamètre est au moins égal à 15 m, la mise à la terre de fait est considérée comme suffisante.
- c) dans les autres cas, le réservoir est connecté en au moins deux points de la circonférence et au moins tous les 30 m, à des prises de terre répondant aux spécifications de la normalisation en vigueur (NF C 17-100, § 2.4, Ed 12/1997). Ceci est applicable aux réservoirs isolés du sol par une membrane.

Perçage de tuyauteries et de réservoirs,

Se reporter au paragraphe 4.1.2.1

Protections des événements

Se reporter au paragraphe 4.1.2.3

6.1.3.2 - Réservoirs et bacs aériens à toit fixe

En raison de leur conception, les réservoirs constituent une cage de Faraday. Les bacs métalliques avec toit fixe, soudés ou rivetés, sont donc considérés comme auto-protégés contre les effets de foudre, à condition que tous les éléments métalliques raccordés à l'extérieur d'un bac soient soudés, rivetés, boulonnés ou reliés par une ou plusieurs liaisons équipotentielles au bac, avec une section minimale de 16 mm² lorsqu'ils sont en cuivre ou aluminium, et de 50 mm² lorsqu'ils sont en acier galvanisé.

Les coquilles d'un calorifuge éventuel d'un bac ne sont pas des éléments de protection et on s'assurera de l'absence d'hydrocarbure imprégnant le calorifuge.

6.1.3.3 - Réservoirs enterrés ou sous talus

Pour les réservoirs sous protection cathodique, les moyens de protection contre la foudre doivent respecter cette protection qui reste prioritaire pour maîtriser les risques de corrosion.

Tous les éléments protégés par un même système de protection cathodique seront reliés entre eux par des liaisons équipotentielles.

Les connexions entre les tuyauteries aériennes et le réservoir sont généralement équipées d'un joint isolant. Aucune protection particulière n'est actuellement préconisée, car le niveau de risque reste faible et l'efficacité des modes de protection contre la foudre n'est pas démontrée à ce jour.

Pour les réservoirs sans protection cathodique, l'équipotentialité et la mise à la terre vis-à-vis de la foudre sera assurée par l'intermédiaire d'un dispositif d'écoulement adapté.

Dans les zones 1, et si des différences de potentiel entre le réservoir sans protection cathodique et les autres installations sont susceptibles d'apparaître et de présenter des risques, des dispositifs parasurtenseurs (parafoudres, cellules de polarisation, etc.) pourront être installés. (voir paragraphes 3.2.1 et 3.2.2 de la norme NF C 17-100).

6.1.3.4 - Réservoirs à toit fixe et à écran flottant

L'enveloppe constitue une cage de Faraday. Ces bacs sont donc considérés comme auto-protégés à condition de respecter les règles de protection listées ci-dessus pour les bacs à toit fixe.

L'écran est connecté au toit par un câble conducteur. Les câbles de guidage sont fixés en bas et en haut.

6.1.3.5 - Réservoirs à toit flottant

Le toit est relié à la robe par l'intermédiaire d'une liaison équipotentielle (frotteurs et/ou câbles) afin d'éliminer les charges statiques susceptibles d'apparaître dans le liquide. Cette liaison se révèle insuffisante pour éviter la montée en potentiel du toit par rapport à la robe, en cas d'impact direct de la foudre sur le toit (di/dt). Il peut apparaître ainsi des tensions supérieures aux tensions de claquage dans l'air, au niveau du joint entre robe et toit, qui provoqueront un arc électrique à ce niveau.

En conséquence, au-dessus de tels réservoirs, l'utilisation de câbles tendus ou pointes caprices ne peut assurer une protection totale et, au contraire, en augmentant le risque de coups de foudre, elle peut accroître le risque d'inflammation au niveau du joint de toit flottant.

La meilleure protection consiste à limiter au maximum l'apparition de vapeur au niveau du joint étanche entre robe et toit. Un effort particulier sera aussi porté sur les équipements d'intervention, afin de limiter les conséquences dues à un feu de joint.

6.1.3.6 - Stockages aériens de GIL (gaz inflammables liquéfiés)

De part leur structure, ces stockages, sphériques ou cylindriques, constituent des cages de Faraday.

On favorisera l'écoulement des charges, en raccordant au moins deux pieds des sphères aux circuits de terre.

On s'assurera de la liaison électrique de l'ensemble des équipements, qui seront reliés par câbles ou tresses, si nécessaire.

6.1.4 - Pipelines et canalisations de transport

Les parties aériennes sont seules concernées par les effets directs. La longueur de ces parties aériennes est, en général, réduite.

Une mise à la terre conforme aux normes est réputée suffisante, si l'épaisseur de la canalisation est supérieure à 4 mm, ce qui est toujours le cas.

Lorsque les parties souterraines des pipes sont isolées des parties aériennes par des joints isolants, la partie aérienne est mise à la terre.

Les parties enterrées des pipelines font l'objet d'une protection contre la corrosion par protection cathodique, en général par courant imposé. Les générateurs de courant alimentés à partir du réseau de distribution peuvent être protégés des surtensions par l'intermédiaire de parafoudres. Ces protections devront être vérifiées régulièrement.

A noter, qu'en cas de défaillance d'un élément de protection, la tension diminue et le courant imposé augmente.

6.1.5 - Colonnes

Si elles sont métalliques, elles sont assimilées à des réservoirs métalliques.

Si elles ne sont pas métalliques, elles sont traitées comme les bâtiments non métalliques.

6.1.6 - Bâtiments non métalliques

En l'absence d'ossature métallique, une cage de Faraday est constituée au moyen de conducteurs de toiture et de conducteurs de descente reliés au réseau de terre, comme indiqué sur la figure 6.5.

Selon la norme NF C 17-100, il est recommandé de réaliser des mailles suivant le tableau ci-dessous :

Niveau de protection	Taille mailles M (m)	Distance entre conducteur descente (m)
I	5 x 5	10
II	10 x 10	15
III	15 x 15	20
IV	20 x 20	25

Il est également recommandé de relier au réseau de terre les armatures des ouvrages en béton armé. Généralement, les équipements métalliques en terrasse seront reliés au réseau équipotentiel.

Cas particulier des bâtiments en béton armé :

L'armature métallique de ces structures peut assurer la continuité électrique sous les conditions exprimées au § 1.3 de la norme NF C 17-100, reprises ci-dessous :

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

6.1.7 - Cheminées

Les cheminées constituent, de par leur hauteur, des constructions exposées à la foudre. Plusieurs cas sont cependant à étudier, selon le risque présenté et selon les matériaux de la cheminée et ceux du conduit de fumée.

Les parois des cheminées métalliques peuvent servir de conducteurs de descente, si la continuité électrique est assurée sur toute la hauteur. Le cas des cheminées maçonnées équipées d'échelles à crinolines ou d'escaliers métalliques est identique au cas précédent.

Les cheminées maçonnées (béton ou briques) peuvent être sujettes à dégradation si elles sont touchées sur leur fût. Si elles sont équipées d'un conduit interne métallique, celui-ci pourra servir de conducteur de descente, si la continuité électrique est assurée sur toute la hauteur. Si elles ne sont pas équipées d'un conduit métallique, deux conducteurs de descente doivent être mis en place, de préférence à l'extérieur pour en faciliter l'entretien. Ces cheminées peuvent être équipées, à leur extrémité de pointes caprices, connectées entre elles et reliées à deux conducteurs de descente extérieurs à la cheminée, situés le long de deux côtés diamétralement opposés comme indiqué sur la figure 6.6. Si la longueur de parcours est inférieure à 35 m, une seule descente suffit (se reporter à la norme NF C 17-100).

Les cheminées en béton armé, dont les ferrailages obéissent aux prescriptions de continuité de la norme NF C 17-100 (cf. supra), sont naturellement protégées contre les effets de la foudre et ne nécessitent pas de protection supplémentaire.

Pour les bâtiments avec cheminées, on assurera l'équipotentialité, tant à la traversée du toit qu'à leur base.

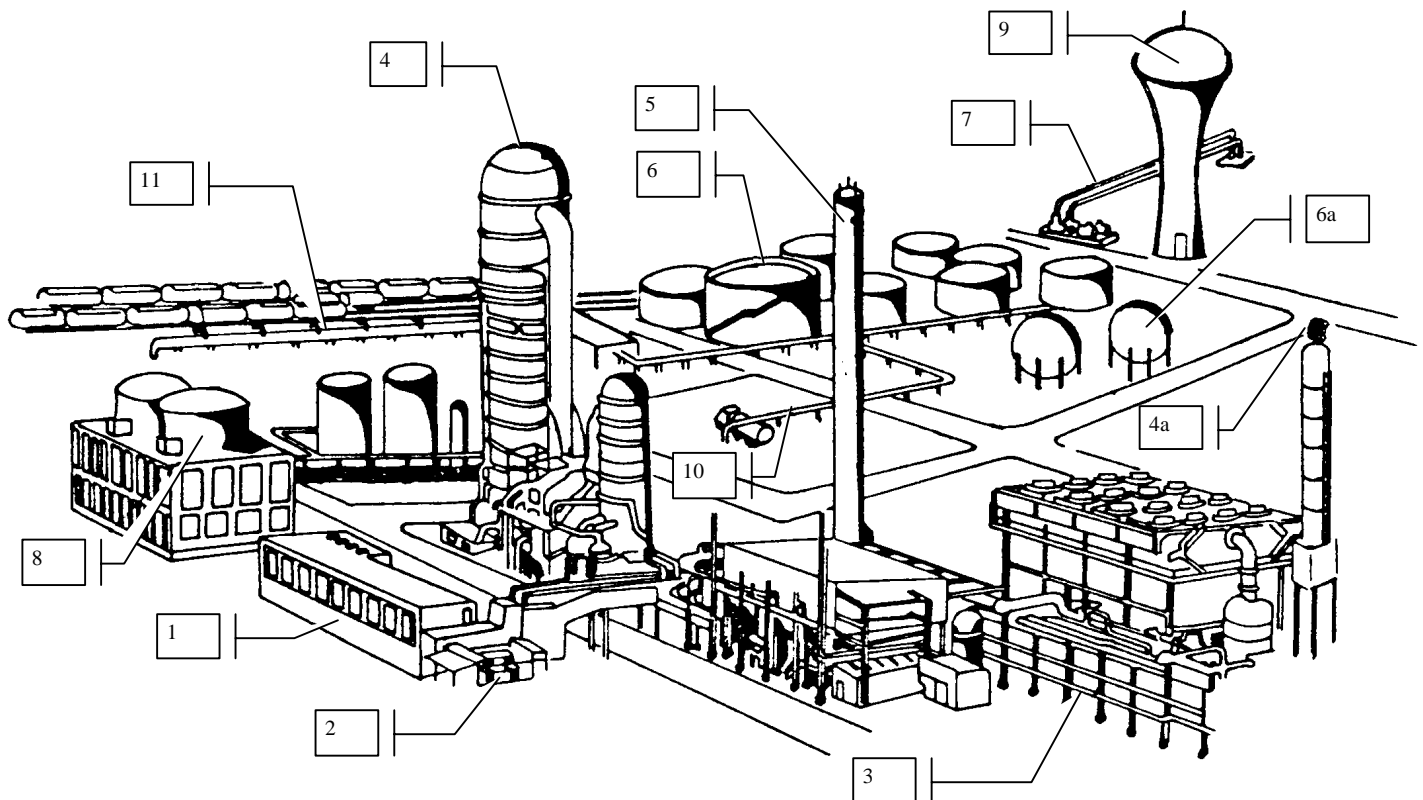
6.1.8 - Châteaux d'eau

Ils sont traités comme des cheminées.

6.1.9 - Antennes

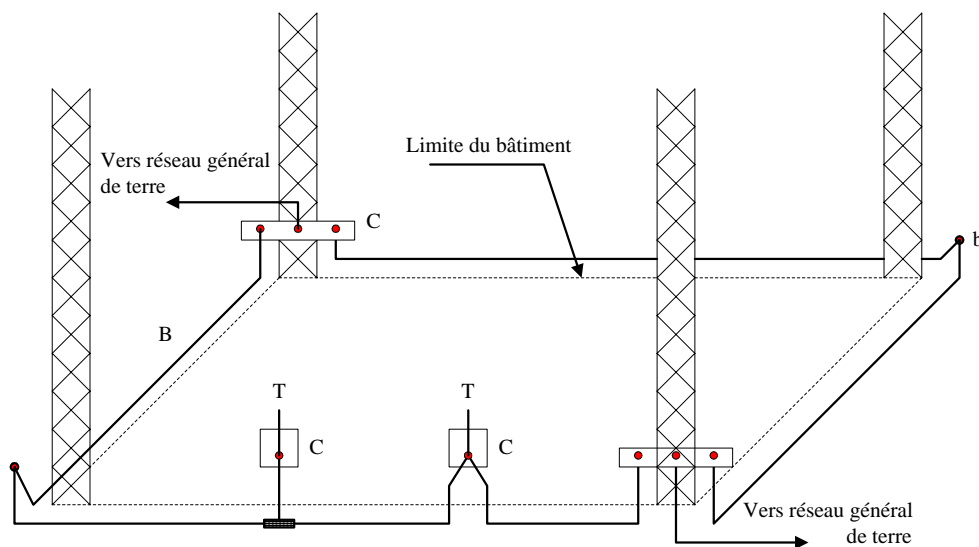
L'existence d'une antenne sur la toiture d'un bâtiment augmente les risques de foudroiement. Si l'étude de protection contre les effets de la foudre montre qu'une protection est nécessaire, alors les dispositions suivantes sont appliquées :

Si l'antenne n'est pas dans la zone de protection d'une structure voisine, on installera un paratonnerre comme indiqué sur la figure 6.7, dans le cas où le mât serait jugé insuffisant. L'utilisation d'un mât commun est également possible, il est alors recommandé que la pointe du paratonnerre dépasse d'au moins 2 m l'antenne la plus proche, et de faire cheminer à l'intérieur du mât le câble coaxial, qui sera protégé par un parafoudre. (Voir la norme NF C 90 101-1 d'avril 94 + additifs n° 1 & 2, 10-97 & 05-98 « Systèmes de distribution par câbles destinés aux signaux de radiodiffusion sonore, de télévision et multimédias interactifs »).

Fig. 6.1 (§ 6.1) - Installations chimiques ou pétrolières - Plan d'implantation généraleSTRUCTURES ET EQUIPEMENTS

1. BATIMENT.
2. LOGES TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE.
3. STRUCTURES METALLIQUES – RACK.
4. COLONNES ET STRUCTURES METALLIQUES D'UNITES.
- 4a. EVENT
5. CHEMINEE.
6. RESERVOIRS.
- 6a. SPHERES.
7. PIPES.
8. AEROREFRIGERANTS.
9. CHATEAU D'EAU.
10. CHARGEMENT ROUTE.
11. CHARGEMENT FER.

Fig. 6.2 (§ 6.1.1) - Exemple de mise à la terre d'une structure à ossature métallique



- LEGENDE :**
- b : Borne.
 - B : Boucle de terre en tranchée ou à fond de fouille.
 - C : Barrette de coupure ou de distribution.
 - T : Conducteur de mise à la terre des masses électriques.

Fig. 6.3 (§ 6.1.2) Rack de tuyauterie

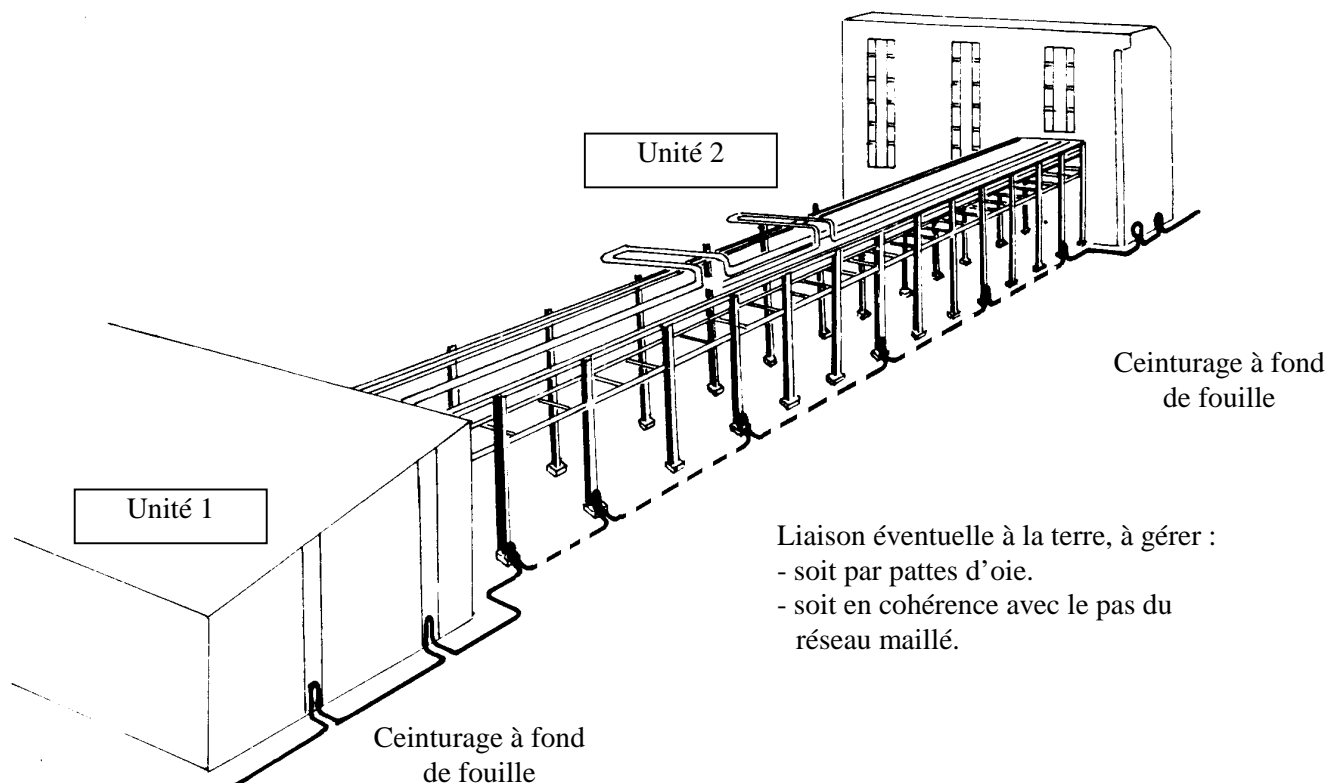
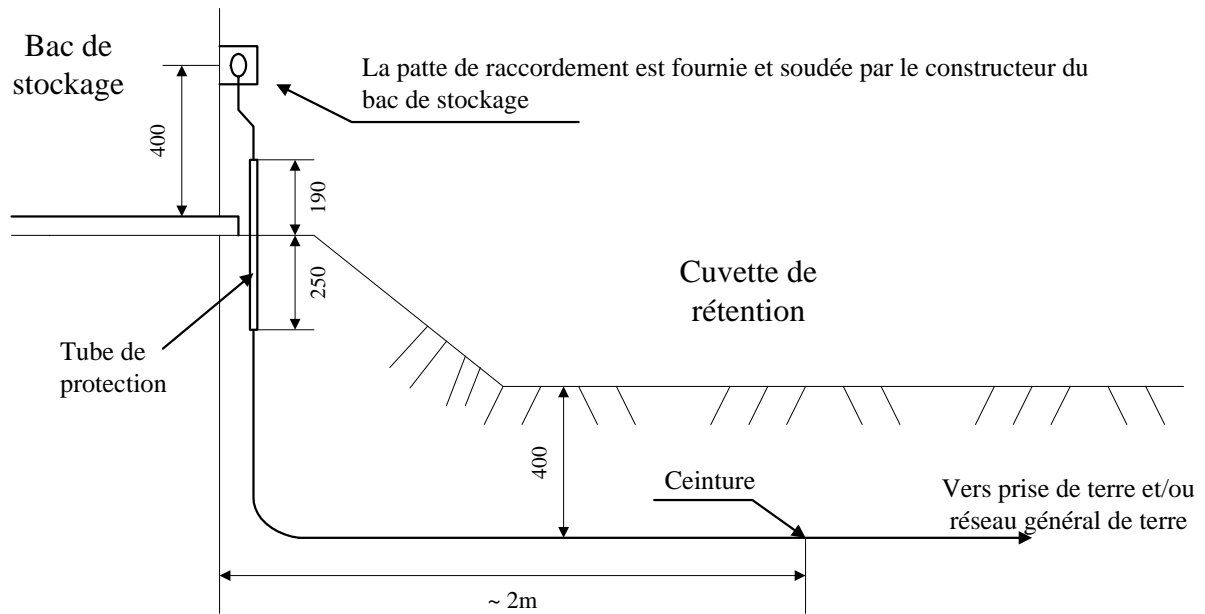
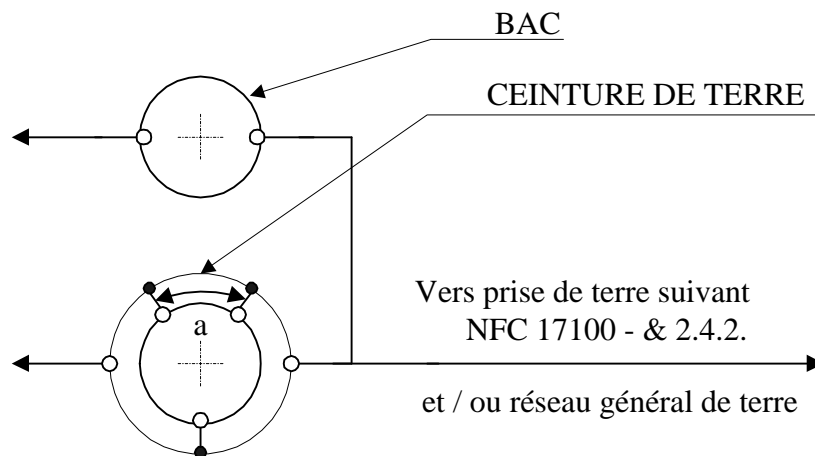
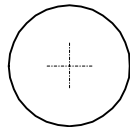


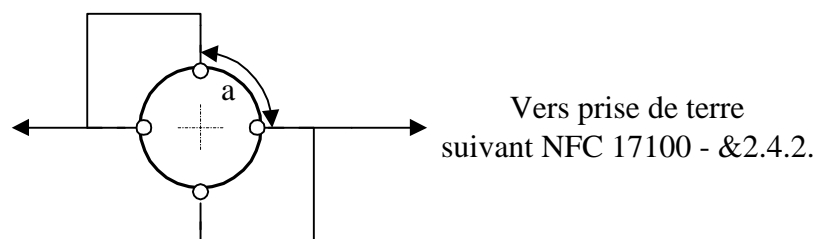
Fig. 6.4 (§ 6.1.3) - Exemples de mise à la terre des réservoirs de stockage



Mise à la terre de fait :
 pour $d >$ ou égal à 6m si mis directement sur le sol ou sur la grave.
 pour $d >$ ou égal à 15m si mis sur revêtement bitumé.



a inférieur ou égal à 30m



(Pour l'exemple, nombre de possibilités non limité.)

Fig. 6.5 (§ 6.1.6) - *Bâtiments non métalliques*

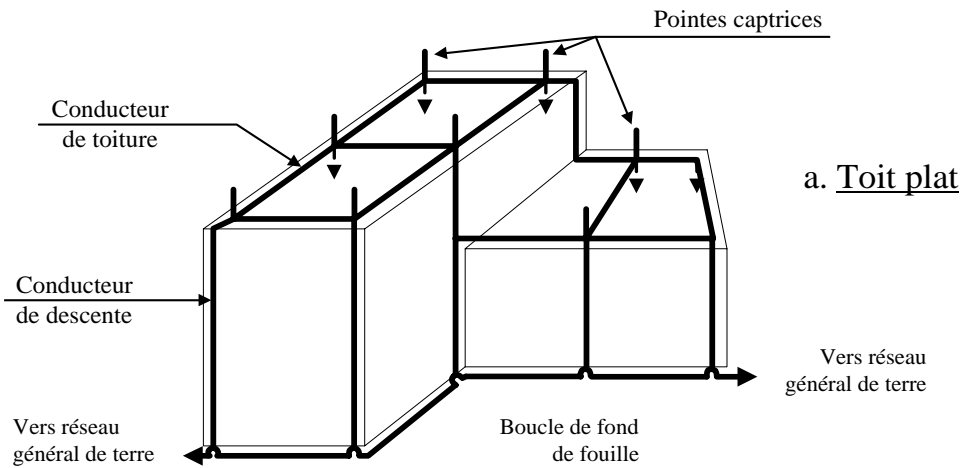


Fig. 6.6 (§ 6.1.7) - *Cheminées*

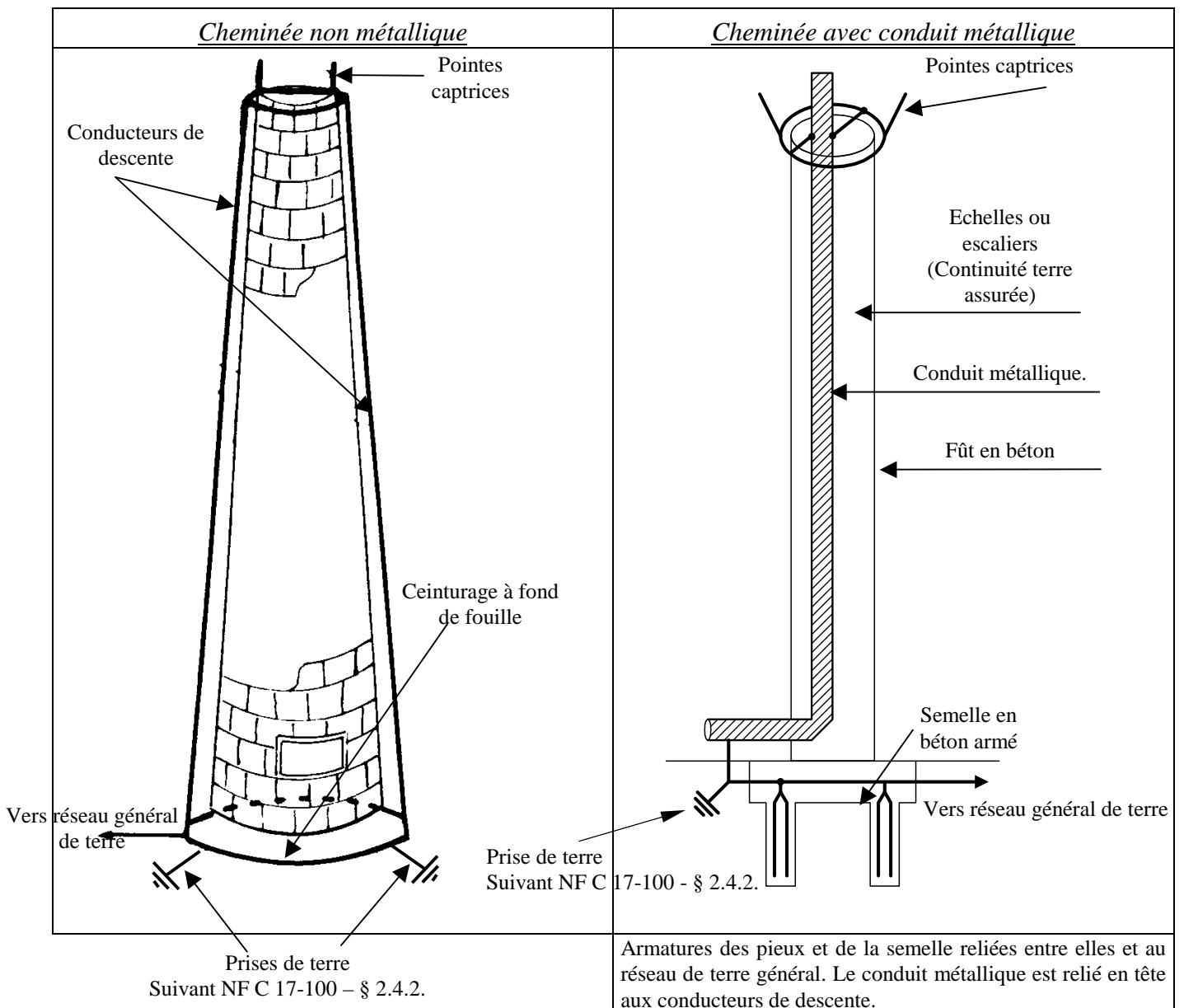
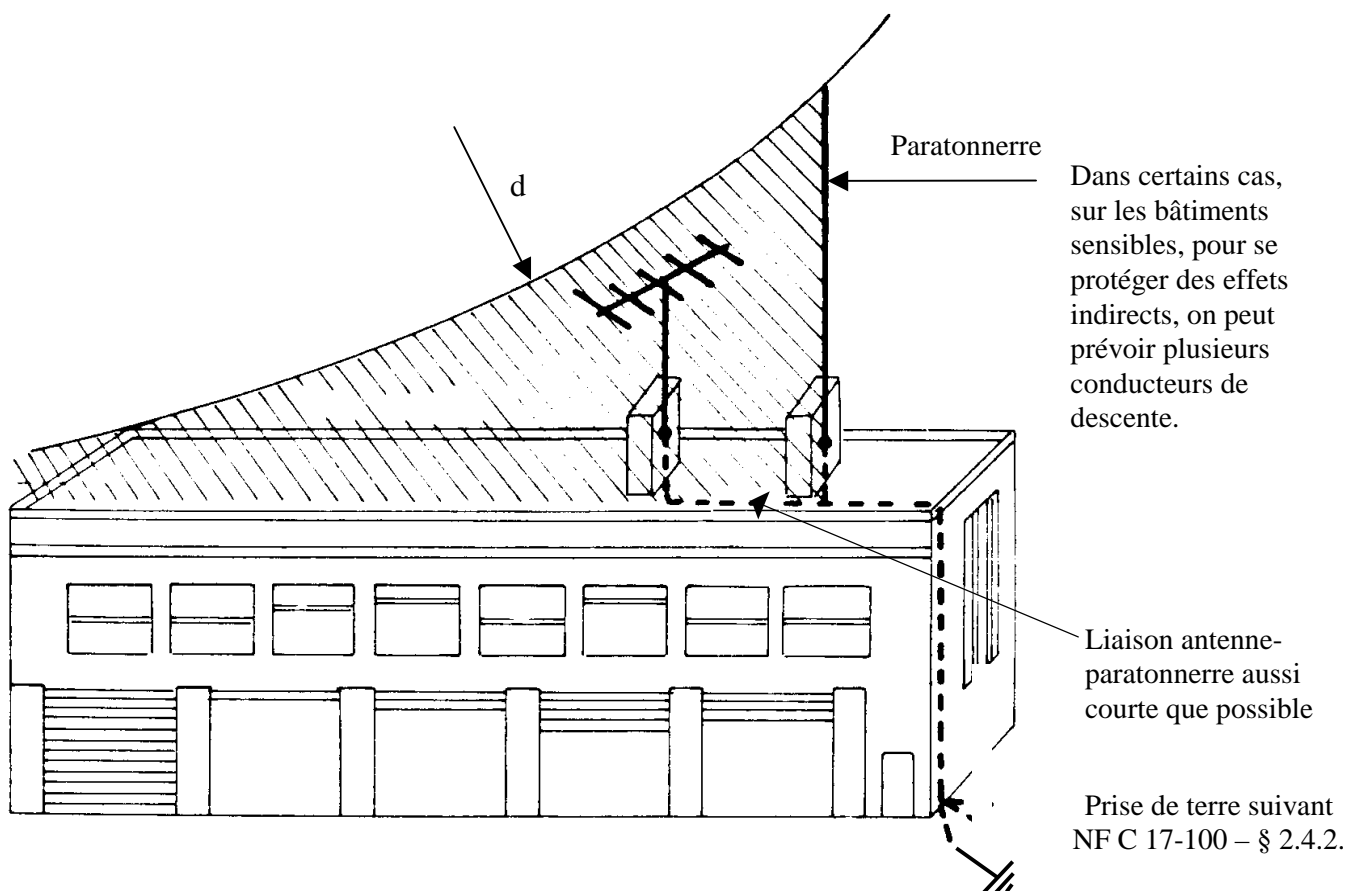


Fig. 6.7 (§ 6.1.9) *Antennes*

6.2 - PROTECTION DES MATERIELS ELECTRIQUES ET ELECTRONIQUES

Dans le cas où il serait jugé nécessaire d'assurer une protection des équipements, les principales techniques utilisées sont décrites ci-après :

6.2.1 - Protection des postes électriques extérieurs haute tension (HTB)

Les dispositifs de protection peuvent être par exemple : câble de garde, parafoudre et éclateurs.

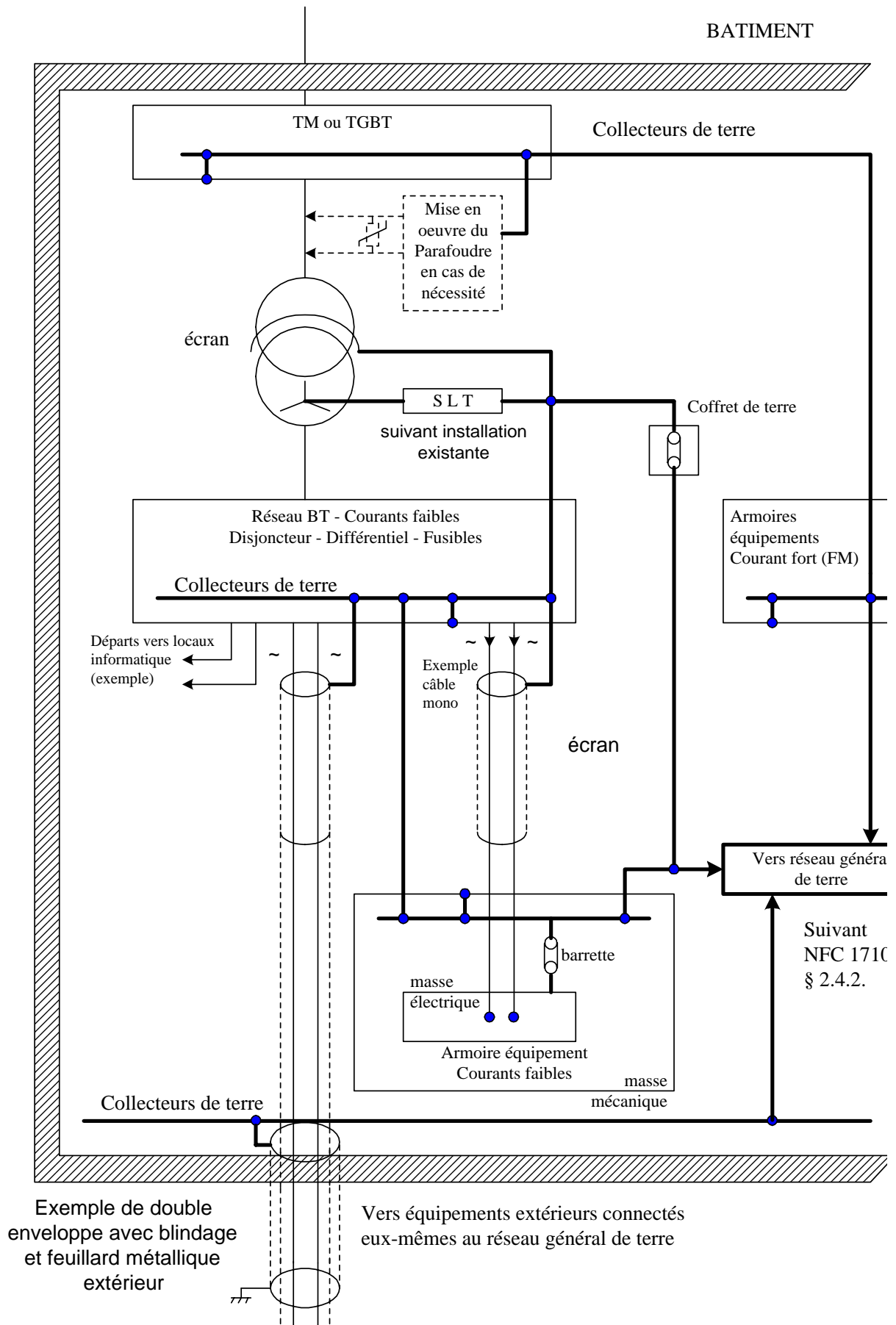
- La protection des postes extérieurs peut être assurée par un réseau de fils de garde, constitué par un ensemble de conducteurs couvrant la surface des installations, à une hauteur et avec des dispositions telles que tous les matériels se trouvent dans la zone de protection. Ce réseau est connecté au réseau général de terre du poste.
- La protection des lignes aériennes peut être assurée par des câbles de garde. A leur entrée dans le poste, ils sont connectés au réseau général de terre du poste.
- La protection des matériels dans les postes extérieurs peut être assurée par des parafoudres. Ils doivent être placés le plus près possible des bornes primaires des transformateurs. Les parafoudres à oxyde de zinc sont actuellement les plus efficaces.

6.2.2 - Protection des réseaux d'alimentation des équipements à courant faible

La protection est assurée en appliquant les principes suivants :

- découpler du réseau BT courant fort, l'alimentation des équipements à courant faible au plus près des équipements ;
- assurer l'équipotentialité des masses et l'écoulement à la terre de l'énergie due aux surtensions ;
- installer, si nécessaire, des parafoudres suivant le guide pratique UTE C 15-443 ;
- dans tous les cas d'adjonction de parafoudres, s'assurer de la cohérence de la sélectivité des protections, à tous les niveaux de protection de l'ensemble des réseaux.

Fig. 6.8 - Exemple d'alimentation d'un équipement courants faibles



7 - ETUDE ET VERIFICATION DE L'EFFICACITE DES PROTECTIONS

Sur la base du dossier constitué (conformément au chapitre 3) et des chapitres précédents, le déroulement d'une étude de protection foudre peut se résumer ainsi :

7.1 - EFFETS DIRECTS

Analyse du niveau de protection requis pour chaque structure ou bâtiment concerné (e) suivant l'organigramme en annexe 1 qui traduit l'annexe B de la NF C 17-100 permettant d'obtenir la distance d'amorçage à prendre en compte dans la méthode de la sphère fictive.

Application de la méthode de la sphère fictive (chapitre 5.2.1) qui permet d'identifier tous les éléments du système de capture (bâtiments, estacade, etc.). Voir exemple en annexe 2 (figures 1 et 2).

Vérification de l'efficacité des dispositions existantes pour un écoulement du courant de foudre au réseau de terre correspondant au niveau de protection requis. En cas d'insuffisance, on recherche les dispositions complémentaires à adopter. Voir exemple en annexe 2 (figures 3 et 4).

7.2 - EFFETS INDIRECTS

En fonction des conséquences identifiées du risque de foudre conformément à l'approche décrite au § 4.2, le guide UTE C 15-443 permet de déterminer les solutions à adapter afin d'éviter les dommages éventuels engendrés par les surtensions.

NOTA : Une autre méthode, citée par la circulaire du 28 Octobre 1996 relative à l'interprétation de l'arrêté du 28 Janvier 1993, est celle décrite dans le guide CEI 1662. Son utilisation, dans sa version actuelle, pour les installations chimiques et pétrolières, est délicate et nécessite des données d'accès difficile pour les exploitants non spécialistes. Son utilisation ne pourra être envisagée que dans des circonstances tout à fait particulières et sous la responsabilité d'un spécialiste.

L'analyse, selon le guide CEI 1662, prend simultanément en compte les effets directs et les effets indirects. A partir de la détermination de la surface de captation des différentes fonctions de l'installation, la méthode permet de calculer les risques de dommages en tenant compte des méthodes et moyens de protection apportés.

8 - VERIFICATION ET MAINTENANCE

L'article 3 de l'arrêté du 28 janvier 1993 fixe la vérification de l'état des dispositifs de protection à 5 ans.

La procédure de vérification sera adaptée à chaque installation à partir du § 4.2.2 de la norme NF C 17-100. Cette vérification devra également être effectuée après toute modification ou réparation de la structure protégée ou après tout impact de coup de foudre constaté sur la structure.

Ces vérifications feront l'objet d'un enregistrement maîtrisé, à tenir à disposition de l'inspecteur des installations classées.

A noter que la norme NF C 17-100 au § 4.2.1 recommande des périodicités plus courtes suivant le niveau de protection et le risque de dégradation.

L'impact de coup de foudre peut être constaté par une inspection visuelle ou par le relevé d'un dispositif de comptage.

L'installation des dispositifs de comptage pourra être limitée aux descentes de système de protection individualisé dans un but de maintenance de ces systèmes.

9 - REGLEMENTS ET NORMES

9.1 - REGLEMENTS

- **Arrêté du 28 janvier 1993** concernant la protection contre la foudre de certaines installations classées.
- **Circulaire n° 93-17 du 28 janvier 1993 et circulaire du 28 octobre 1996** relatives à la protection de certaines installations classées contre les effets de la foudre.
- **Arrêté du 10 mai 1993** relatif aux réservoirs de gaz inflammables liquéfiés sous pression.
- **Arrêté du 9 novembre 1989** modifié relatif aux nouveaux réservoirs de gaz combustibles liquéfiés.
- **Décret n° 88-1056 du 14 novembre 1988** relatif à la protection des travailleurs dans les établissements mettant en œuvre des courants électriques (Ministère du travail, de l'emploi et de la formation professionnelle).
- **Arrêté du 4 septembre 1967** relatif à l'aménagement et l'exploitation des usines de traitement de pétrole brut, de ses dérivés et résidus. Article 35 (Ministère de l'industrie).
- **Arrêtés du 9 novembre 1972 et 19 novembre 1975** relatifs aux règles d'aménagement et d'exploitation des dépôts d'hydrocarbures liquides et liquéfiés de 1ère et 2ème classe. Article 405 (Ministère du développement industriel et scientifique).
- **Arrêté du 31 mars 1980** concernant la réglementation des installations électriques des établissements réglementés au titre de la législation sur les installations classées et susceptibles de présenter des risque d'explosion (Ministère de l'environnement).
- **Arrêté du 11 octobre 1983** relatif à l'interdiction de l'emploi des radio-éléments pour la fabrication des paratonnerres, ainsi que la commercialisation et l'importation de ces paratonnerres.

9.2 - NORMES ET REFERENTIELS UTILISABLES

9.2.1 - Normes françaises

- **NF C 17-100** : Protection contre la foudre. Protection des structures contre la foudre. Installations de paratonnerre. Règles (décembre 1997).
- **NF C 17-102** : Protection contre la foudre. Protection des structures et des zones ouvertes contre la foudre par parafoudre à dispositif d'amorçage (juillet 1995).
- **NF C 15-100** : Installations électriques à basse tension (mai 1991).
- **NF C 13-100** : Postes de livraison établis à l'intérieur d'un bâtiment et alimenté par un réseau de distribution publique de deuxième catégorie (juin 1983).
- **NF C 13-200** : Installations électriques à haute tension. Règles (avril 1987).
- **NF C 61-740** : Matériel pour installations alimentées directement par un réseau de distribution publique. Parafoudres pour installation basse tension (juillet 1995).
- **UTE 15-443** Guide pratique : Protection des installations électriques basse tension contre les surtensions d'origine atmosphérique. Choix et installations des parafoudres (juillet 1996).
- **NF EN 90 101-1** : Systèmes de distribution par câble destinés aux signaux de radiodiffusion sonore et de télévision - Partie 1 : règles de sécurité (avril 1994) et amendements A1 (octobre 1997) et A2 (mai 1998).

9.2.2 - Normes internationales

- **CEI 1024-1** : Protection des structures contre la foudre. Première partie : principes généraux (avril 1990).

- **ENV 61 024-1** (pré norme européenne) : Protection des structures contre la foudre. Première partie : principes généraux (1994).
- **CEI 1024-1-1** : Protections des structures contre la foudre. Première partie : principes généraux – Section 1 : Guide A – Choix des niveaux de protection pour les installations de protection contre la foudre (août 1993).
- **CEI 1024-1-2** : Protection des structures contre la foudre. Première partie. Section 2 . Guide B – Conception physique, construction, maintenance et vérification du système de protection (mai 1998).
- **CEI 1312-1** : Protection contre l'impulsion électromagnétique générée par la foudre. Partie 1 : Principes généraux (février 1995).
- **CEI 1312-4** : Protection contre l'impulsion électromagnétique générée par la foudre. Partie 4 : Guide d'application pour la protection contre l'IEMF pour les structures existantes (août 1998).
- **CEI 1662** : Evaluation des risques de dommages liés à la foudre (avril 1995).

9.3 - DOCUMENTS AYANT VALEUR DE NORME

- **NFPA 780** : Lightning protection code-1992

10 - BIBLIOGRAPHIE

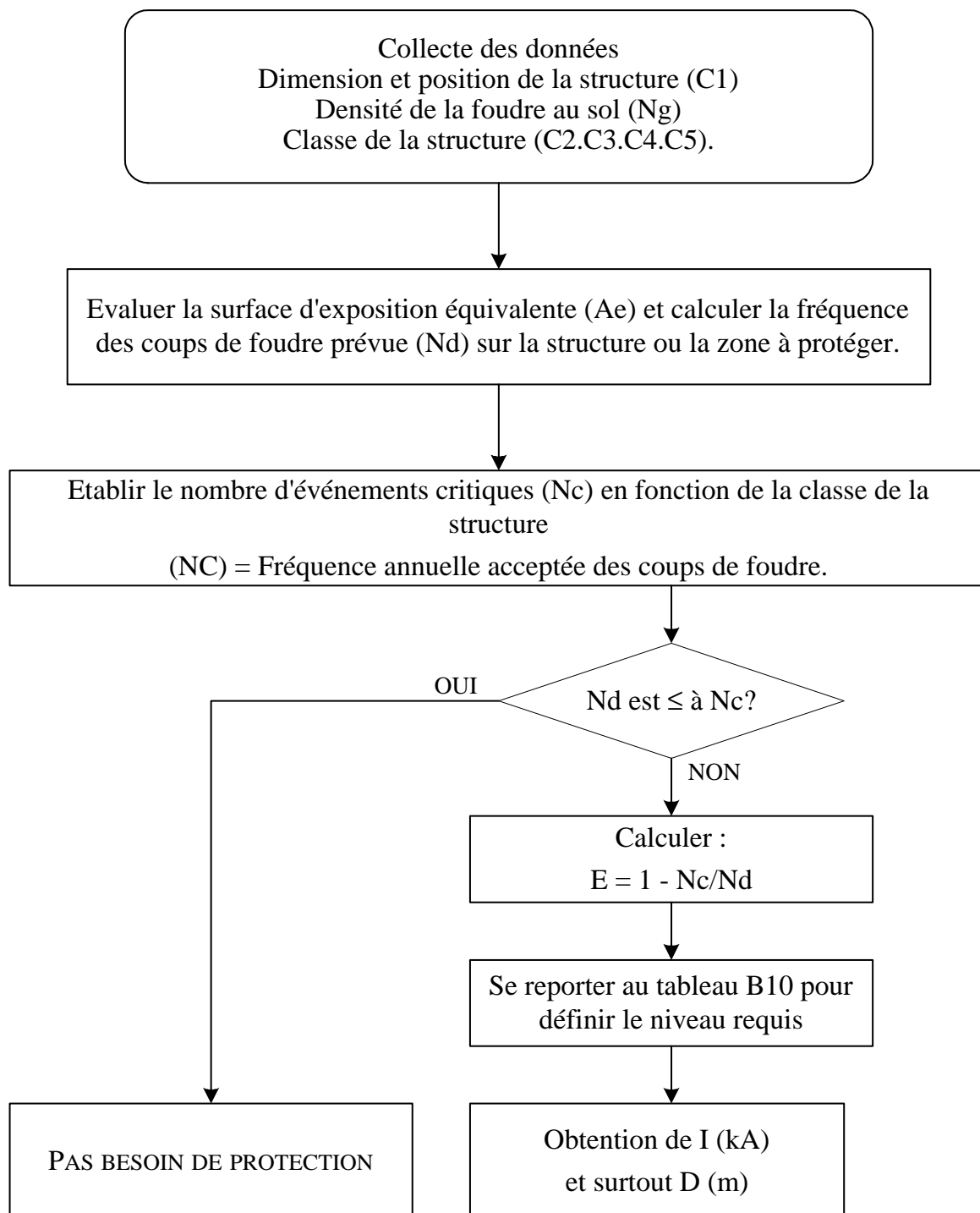
- **Foudre et protection des bâtiments** par Claude GARY – Techniques de l'ingénieur.
- **Guide de l'ingénierie électrique des réseaux internes d'usine** – Editions LAVOISIER.
- **La foudre : le phénomène, ses conséquences, la prévention** – Revue générale d'électricité n°3 de mars 1989 et n°5 de mai 1990.
- **La protection des installations contre les effets de la foudre** – REE n°6 de juin 1999.
- **Protection contre la foudre** – Cahier technique J3E n°13 mars 1994.
- **Les parafoudres : pour un haut niveau de sécurité** – Cahier technique J3E n°35 octobre 1997.
- **La foudre : comment protéger efficacement ses installations** – Les cahiers de l'ingénierie n°64 de juin 1997 et n° 65 de septembre 1997.
- **Guide de la protection contre les effets de la foudre** – UTE juin 2000.

ANNEXES

Annexe 1 : Organigramme d'analyse du niveau de protection requis suivant annexe B NF C 17-100

Annexe 2 : Application sphère fictive (figures 1 à 4)

Annexe 3 : Arrêté du 28 janvier 1993 et ses deux circulaires d'application du 28/01/93 et du 28/10/96.

ANNEXE 1**ORGANIGRAMME D'ANALYSE DU NIVEAU
DE PROTECTION REQUIS
SUIVANT ANNEXE B (NF C 17-100)**

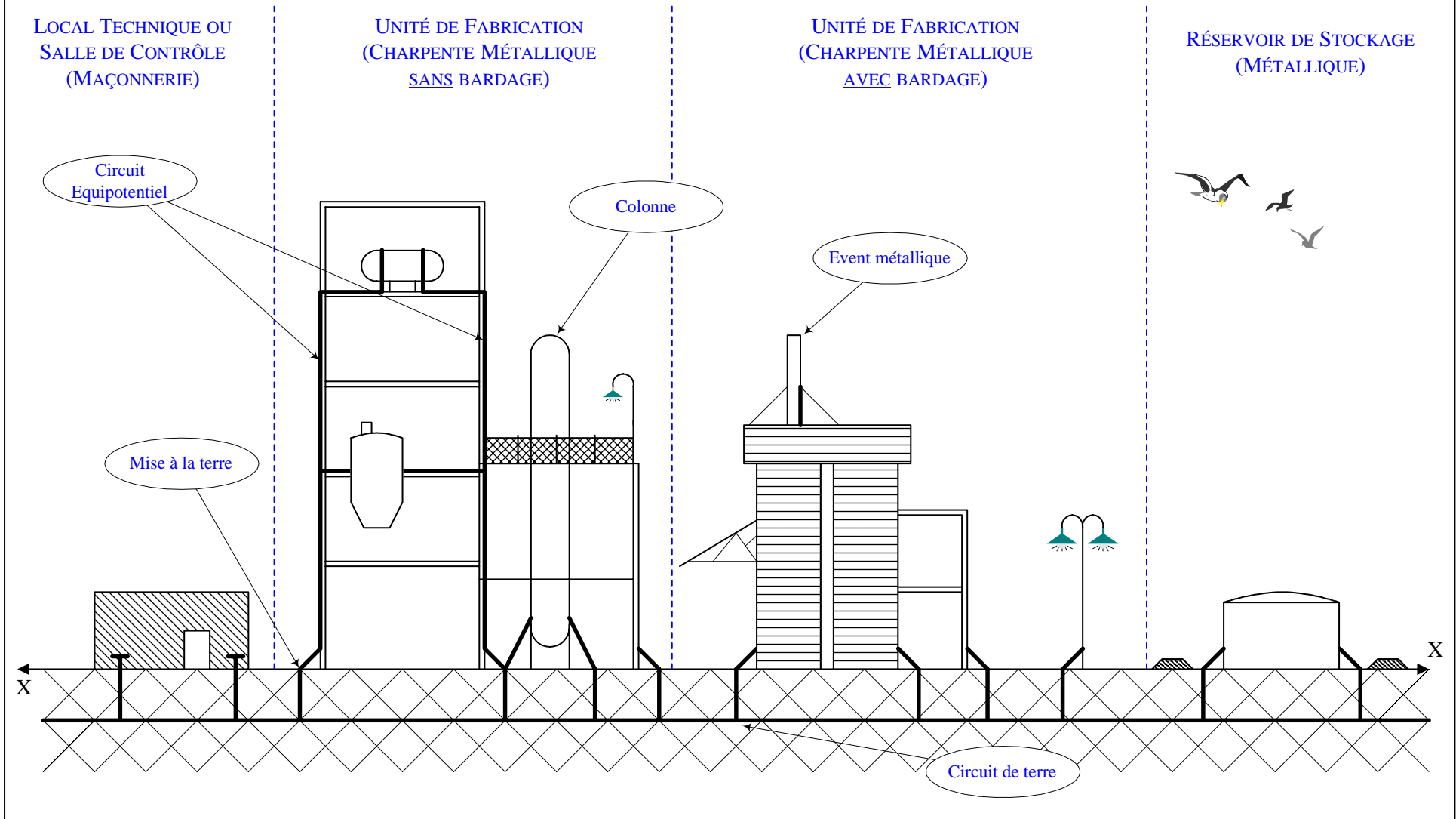
ANNEXE 2

APPLICATION SPHERE FICTIVE

(Voir figures 1 à 4 ci-après)

MODÈLE ELECTRO-GÉOMÉTRIQUE

Etude selon la coupe X-X pour un courant de xkA et $d=20m$

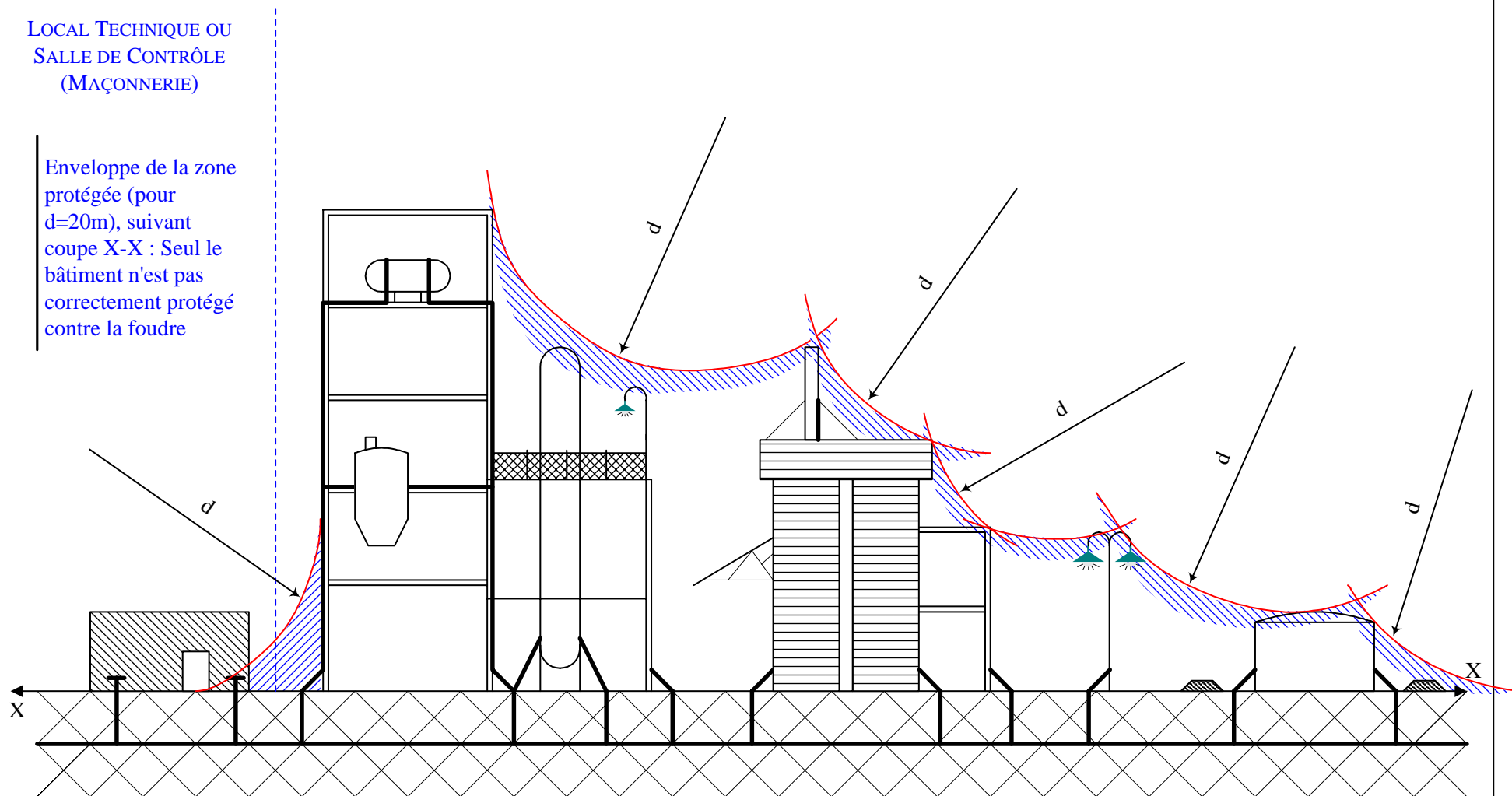


MODÈLE ELECTRO-GÉOMÉTRIQUE

Etude selon la coupe X-X pour un courant de xkA et $d=20m$

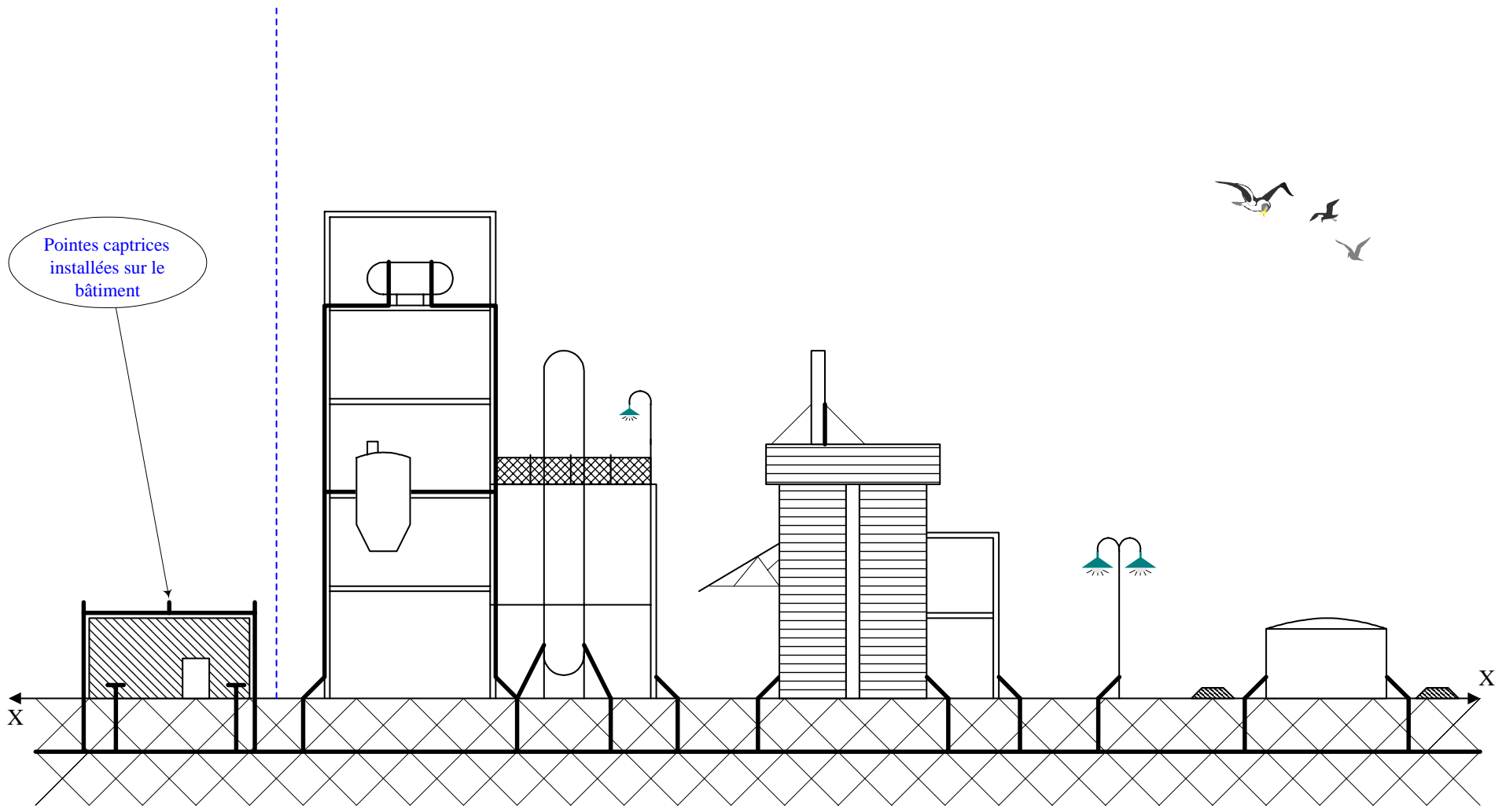
LOCAL TECHNIQUE OU
SALLE DE CONTRÔLE
(MAÇONNERIE)

Enveloppe de la zone
protégée (pour
 $d=20m$), suivant
coupe X-X : Seul le
bâtiment n'est pas
correctement protégé
contre la foudre



MODÈLE ELECTRO-GÉOMÉTRIQUE

Etude selon la coupe X-X pour un courant de xkA et $d=20m$



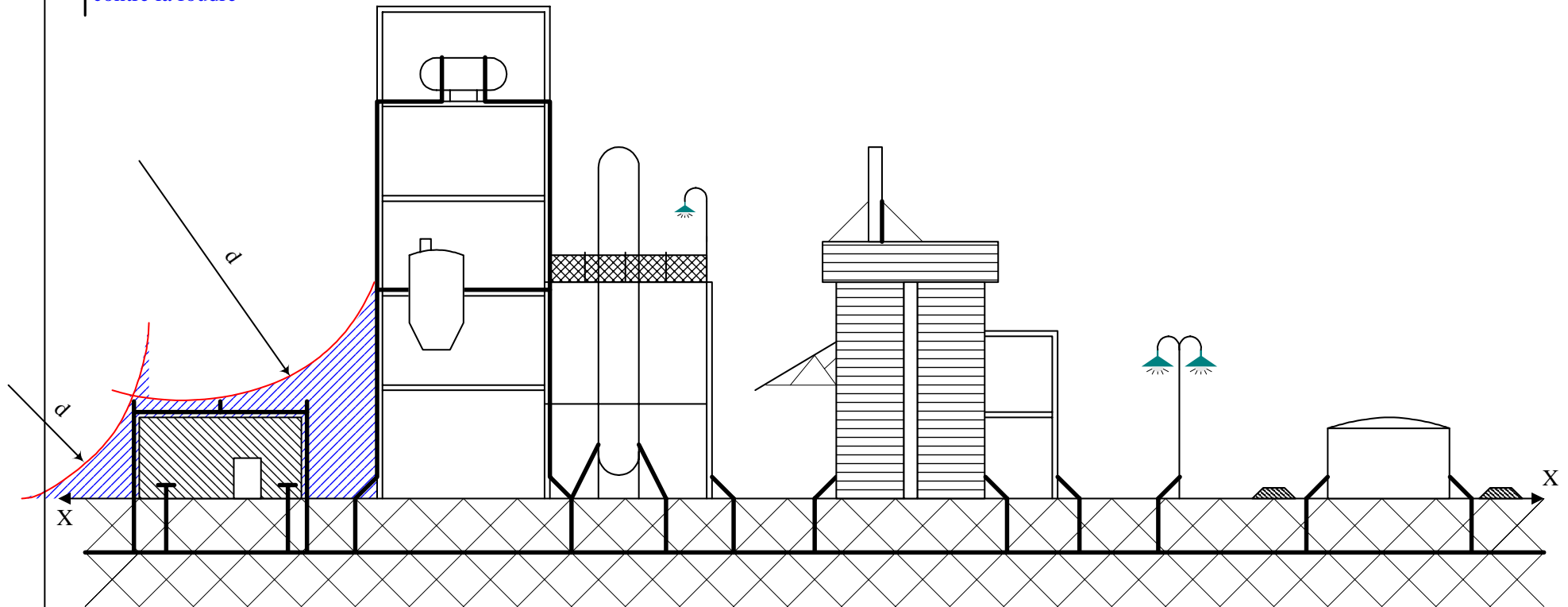
Pointes caprices
installées sur le
bâtiment

X X

MODÈLE ELECTRO-GÉOMÉTRIQUE

Etude selon la coupe X-X pour un courant de xkA et $d=20m$

Modification de la zone protégée (pour $d=20m$) due à l'installation de pointes caprices sur le bâtiment A : Le bâtiment est alors correctement protégé contre la foudre



ANNEXE 3**Arrêté du 28 janvier 1993 concernant la protection contre la foudre de certaines installations classées
(JO du 26 février 1993)**

Le ministre de l'Environnement.

- Vu la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement ;
- Vu le décret n° 77-1133 du 21 septembre 1977 pris en application de la loi susvisée ;
- Vu l'avis du Conseil supérieur des installations classées.

Arrête :

Art. 1

Les installations soumises à autorisation au titre de la législation des installations classées et sur lesquelles une agression par la foudre pourrait être à l'origine d'événements susceptibles de porter gravement atteinte, directement ou indirectement, à la sûreté des installations, à la sécurité des personnes ou à la qualité de l'environnement doivent être protégées contre la foudre.

Art. 2

Les dispositifs de protection contre la foudre doivent être conformes à la norme française C 17-100 de février 1987 ou à toute norme en vigueur dans un État membre de la Communauté européenne et présentant des garanties de sécurité équivalentes.

La norme doit être appliquée en prenant en compte la disposition suivante : pour tout équipement, construction, ensemble d'équipements et constructions ne présentant pas une configuration et des contours hors tout géométriquement simples, les possibilités d'agressions et la zone de protection doivent être étudiées par la méthode complète de la sphère fictive. Il en est également ainsi pour les réservoirs, tours, cheminées et, plus généralement, pour toutes structures en élévation dont la dimension verticale est supérieure à la somme des deux autres.

Cependant, pour les systèmes de protection à cage maillée, la mise en place de pointes caprices n'est pas obligatoire.

Art. 3

L'état des dispositifs de protection contre la foudre des installations visées au présent arrêté fera l'objet, tous les cinq ans, d'une vérification suivant l'article 5.1 de la norme française C 17-100 adapté, le cas échéant, au type de système de protection mis en place. Dans ce cas la procédure sera décrite dans un document tenu à la disposition de l'inspection des installations classées.

Cette vérification devra également être effectuée après l'exécution de travaux sur les bâtiments et structures protégés ou avoisinants susceptibles d'avoir porté atteinte au système de protection contre la foudre mis en place et après tout impact par la foudre constaté sur ces bâtiments ou structures.

Un dispositif de comptage approprié des coups de foudre doit être installé sur les installations visées au présent arrêté. En cas d'impossibilité d'installer un tel comptage, celle-ci sera démontrée.

Art. 4

Les pièces justificatives du respect des articles 1^{er}, 2 et 3 ci-dessus sont tenues à la disposition de l'inspecteur des installations classées.

Art. 5

Les dispositions du présent arrêté sont applicables à toute nouvelle installation visée à l'article 1^{er} ci-dessus.

Est considérée comme nouvelle installation au titre du présent article toute installation dont le dossier de demande d'autorisation est déposé après la publication du présent arrêté.

Art. 6

L'application du présent arrêté aux installations existantes se fera de plein droit dans un délai de six ans après la publication du présent arrêté. Le préfet peut imposer, au cas par cas, le respect des dispositions des articles 1^{er}, 2, 3 et 4 du présent arrêté avant l'expiration du délai de six ans ci-dessus.

Circulaire n° 93-17 du 28 janvier 1993 relative à la protection de certaines installations classées contre les effets de la foudre (BOMELT n° 506-93/8 du 31 mars 1993)

Objet : Application de l'arrêté du 28 janvier 1993 relatif à la protection de certaines installations classées contre les effets de la foudre.

1 - Installations non visées à l'article 1er de l'arrêté

Ne sont pas visées à l'article 1^{er} de l'arrêté, sauf avis contraire, au cas par cas, de l'inspecteur des installations classées, les installations soumises à autorisation au titre des rubriques de la nomenclature des installations classées figurant à l'annexe I de la présente circulaire.

Il s'agit, en l'occurrence, de familles d'installations classées du fait de risques de pollutions ou nuisances pour lesquelles les effets de la foudre ne présentent pas de caractère aggravant, à savoir :

- nuisances olfactives, pollutions des eaux et du sol (points 1 et 2 de l'annexe I) ;
- bruit, vibrations (point 3 et 4 de l'annexe I) ;
- émission de poussières inertes au point de vue des risques d'incendie ou d'explosion (point 4 de l'annexe I).

2 - Zones géographiques

L'arrêté ne prend pas en compte les différences de probabilité de foudroiement entre les différentes régions et s'applique donc sans distinction géographique sur l'ensemble du territoire.

En effet, l'analyse par région du risque de foudroiement, qu'elle soit faite selon le niveau kéraunique ou selon la densité des impacts au sol, ne met en évidence aucune zone où le risque puisse être négligé (d'après, notamment, une étude effectuée pour le compte de la DEPPR « Analyse statistique du foudroiement en France pour 1989 », document météorologie n° 917022).

3 - Applications de la norme NF C 17-100**3.1 - Étude préalable**

Le paragraphe 2.1.3. de la norme C 17-100 stipule que toute installation de protection contre la foudre doit faire l'objet d'une étude préalable. Ce point doit être respecté.

3.1.1 - Installations nouvelles

Pour les installations nouvelles visées à l'article 5 de l'arrêté, cette étude mérite de faire partie intégrante de l'étude de dangers jointe au dossier de demande d'autorisation.

3.1.2 - Installations existantes

Pour les installations existantes, et dans les conditions définies à l'article 6 de l'arrêté,

- dans le cas d'installations où n'existe pas de dispositif de protection contre la foudre susceptible d'être conservé, l'étude préalable est effectuée comme pour une installation nouvelle ;
- dans le cas d'installations où des dispositifs de protection contre la foudre correspondant aux dispositions de l'article 2 de l'arrêté sont déjà en place, l'étude préalable comporte une première partie décrivant ces dispositifs et une seconde partie définissant les modifications et adjonctions à y apporter, si nécessaire, pour mettre l'installation en conformité avec les dispositions de l'article 2 de l'arrêté.

Dans ces deux cas, l'étude préalable constitue une des pièces justificatives visées à l'article 4 de l'arrêté.

3.2 - Conception des dispositifs de protection contre la foudre

3.2.1 - Installations nouvelles

D'une façon générale, et notamment à son paragraphe 2.2.2, la norme C 17-100 recommande l'utilisation de systèmes de capture, de descente et d'écoulement à cages maillées de préférence aux dispositifs à tiges et descentes non maillées. Cette recommandation tient, entre autres, au fait que l'écoulement à la terre du courant de foudre crée, outre des phénomènes thermiques, des phénomènes de surtension et d'induction dont l'importance et les effets sont fonction, entre autres, de l'impédance du système d'écoulement ($Z \cdot di/dt$). Or, les systèmes à cages maillées ont des impédances propres beaucoup plus faibles que les descentes en ligne de paratonnerres : pour les nouvelles installations visées par l'arrêté, ce sont les systèmes à cages maillées qui devront être préférés.

3.2.2 - Installations existantes

Pour les installations existantes, la mise en conformité avec les dispositions de la norme n'est pas toujours possible sans intervention sur les fondations ou le gros oeuvre, notamment pour assurer le passage des conducteurs de descente en respectant les normes d'éloignement ou pour l'installation des prises de terre. Dans ces cas, l'étude devra montrer que le niveau de protection obtenu est équivalent à celui correspondant à l'application stricte de l'arrêté. A ce propos, il convient de souligner que lorsqu'il n'est pas possible de réaliser une prise de terre conforme, il est nécessaire d'assurer une bonne équipotentialité des masses.

3.2.3 - Évaluation de l'équivalence

Le cahier technique de l'Union des industries chimiques de juin 1991 propose des recommandations pour la protection des installations industrielles contre les effets de la foudre et des surtensions. La stricte mise en oeuvre de ces recommandations répond à l'objectif d'équivalence précité.

3.3.1 - Paratonnerres à source radioactive

La fabrication et la vente des paratonnerres utilisant des sources radioactives ont été interdites en France à compter du 1^{er} janvier 1986 par arrêté publié au JO du 23 octobre 1983.

3.3.2 - Paratonnerres à dispositif d'amorçage, dits « actifs »

La norme C 17-100 mentionne que ces équipements sont réputés protéger une zone plus étendue que les tiges simples de même hauteur, mais ne donne pas les conditions dans lesquelles leur utilisation permet de modifier la configuration des systèmes de protection (sur-hauteur de la tige ou augmentation du rayon de la sphère fictive). Dans l'attente d'indications confirmées à ce sujet par un organisme habilité, il pourra en tout cas être admis dans l'étude que ces dispositifs assurent une surprotection de l'installation sur laquelle ils sont mis en place.

3.4 - Descentes et prises de terre

Les prises de terre représentent un élément déterminant d'une bonne protection contre les effets de la foudre. La norme C 17-100 spécifie pour les prises de terre une valeur maximale de résistance de 10 ohms. Cette spécification doit être interprétée comme suit : « toute prise de terre dont la résistance, mesurée par les moyens conventionnels, est supérieure à 10 ohms, est inopérante au titre de la protection contre la foudre ».

La valeur maximale de 10 ohms à ne pas dépasser est à comprendre, et doit être contrôlée, avant l'interconnexion de la prise de terre concernée aux autres éléments ou structure également mis à la terre dans l'installation. Lorsque le système de protection comporte plusieurs descentes et prises de terre, interconnectées par un ceinturage spécifique, la résistance de prise de terre doit être contrôlée avant raccordement de ce ceinturage à d'autres parties mises à la terre ou à d'autres prises de terre.

L'étude des descentes, des bouclages et des prises de terre destinées à l'écoulement de la foudre doit être faite dès la conception de toute nouvelle installation, notamment dans le cadre des études de fondations.

Cette étude doit tenir compte de plusieurs points :

- équipotentialité poussée des descentes, structures, appareils métalliques, armoires, etc., dans les zones à risques, afin d'éviter que les montées de potentiel dues à la foudre n'atteignent des valeurs permettant l'amorçage;
- environnement souterrain tel que lignes électriques, canalisations métalliques, cuves, dans les zones d'écoulement du courant de foudre ;
- nature du sol.

La réalisation des prises de terre doit faire l'objet d'une surveillance précise en cours de chantier.

3.5 - Installations électriques

Les dispositions techniques de la norme C 17-100 visent essentiellement à éliminer les effets directs de la foudre par une bonne canalisation de son écoulement à la terre.

Cependant, l'article 1er de cette norme rappelle que la protection des installations électriques contre les effets de la foudre est définie par les normes C 13-100, C 13-200 et C 15-100.

3.6 - Comptage des coups de foudre

Les dispositifs de comptage des coups de foudre permettent de savoir si le système de protection a reçu un impact ou non et permettent donc de décider, à bon escient, de vérifier le système de protection contre la foudre.

Pour les sites industriels complexes, leur implantation peut dans certains cas se révéler très difficile techniquement ou d'un coût excessif. Dans ces cas, le dispositif de comptage peut ne pas être installé. Mais, dans un tel cas, dès qu'il y a un doute sur l'existence d'un impact de foudre, le système de protection doit être vérifié. Cette obligation doit être rappelée à l'exploitant.

Les dispositions prévues par ces normes, notamment aux articles 443 et 534 de la norme C 15-100 de mars 1990, pourront être imposées pour les équipements électriques et les dispositifs de commande et de contrôle contribuant à la sûreté d'une installation visée à l'article 1er de l'arrêté.

4 - Systèmes de protection active

Sont appelés ainsi les systèmes de protection contre la foudre assurant les fonctions suivantes :

- d'une part, prévision du risque d'agression par la foudre avant que celui-ci n'existe effectivement sur le site à protéger ;
- d'autre part, lorsque le risque est détecté, interruption et interdiction physique des opérations dangereuses ou mise en configuration sûre de l'installation.

L'arrêté ne prend pas en compte la possibilité qu'existe, sur le site à protéger, un système de protection active reposant sur une prévision des coups de foudre. Ces systèmes peuvent être nécessaires pour assurer la protection de certains personnels (opérations de maintenance sur des structures de grandes hauteurs, conducteurs de grues, etc.) ou certaines opérations industrielles particulières (chargement ou déchargement de matières dangereuses...). Dans le cas des installations classées, objet du présent arrêté, ces systèmes n'ont pas vocation à se substituer aux dispositions préconisées dans la norme C 17-100 mais peuvent, le cas échéant, constituer un complément nécessaire.

5 - Application de l'arrêté aux installations existantes

L'inspecteur des installations classées soumettra au préfet les installations pour lesquelles il aura estimé nécessaire de faire appliquer les dispositions de l'article 2 de l'arrêté avant l'expiration du délai de six ans prévu à l'article 6 de l'arrêté. Dans ce cas, les échéances de réalisation de l'étude préalable et du système de protection seront fixées dans un arrêté préfectoral pris en application de l'article 18 de la loi du 19 juillet 1976.

Il convient de ne pas ignorer le nombre éventuellement restreint d'experts compétents susceptibles de réaliser les études imposées par les dispositions de l'arrêté. Il est nécessaire de prévoir un étalement dans le temps de ces mesures, selon les indications ci-après :

5.1 -

En premier lieu, et aussi tôt que possible, figureront les installations pour lesquelles il est établi un plan particulier d'intervention, c'est-à-dire celles affectées de la lettre « S » dans la nomenclature des installations classées.

5.2 - *Installations d'un établissement où une installation nouvelle est visée*

Pourront également être soumises les installations classées existantes, visées à l'article 1er de l'arrêté, d'un établissement industriel où une nouvelle installation, visée à l'article 1er de l'arrêté, aura fait l'objet d'une demande d'autorisation.

5.3 - *Autres installations*

Les installations non visées aux deux paragraphes ci-dessus seront traitées au cas par cas, compte tenu de l'état des protections y existant et des risques environnants.

6 - Contrôle quinquennal

Les vérifications stipulées à l'article 3 de l'arrêté sont effectuées sous la responsabilité de l'établissement dont dépend l'installation concernée et font l'objet d'une déclaration de conformité signée du directeur de l'établissement et constituant une des pièces justificatives visées à l'article 4 de l'arrêté.

Le nombre d'impacts, enregistré trimestriellement sur le dispositif de comptage défini au troisième alinéa de l'article 3 de l'arrêté, figure en annexe de la déclaration. Dans le cas où l'installation aura subi, au cours de la période considérée, une agression par la foudre ayant entraîné des dommages d'une certaine importance (par exemple, arrêt accidentel de l'unité de plus d'une heure, ...), cette agression sera signalée, nonobstant sa déclaration au titre d'autres textes réglementaires en vigueur.

7 - Abrogation de la circulaire du 22 octobre 1951

La circulaire du 22 octobre 1951, du secrétaire d'État au Commerce, concernant la protection des établissements industriels contre le danger d'incendie par la foudre, est abrogée par la présente.

Les dispositions contraires des autres circulaires et instructions techniques antérieures sont également abrogées, en particulier le troisième alinéa de l'article 12 de l'instruction technique du 4 février 1987 relative aux entrepôts.

Annexe I (à la circulaire du 28 janvier 1993)

Liste des rubriques de la nomenclature des installations classées non visées à l'article 1er de l'arrêté sauf avis contraire de l'inspecteur des installations classées ⁽¹⁾.

1 - Rubriques concernant certaines activités agroalimentaires ou relatives au traitement des déchets animaux

1 : Abattage des animaux.	244 : Lard, charcuteries, viandes.
58 : Animaux et être vivants : sous-rubrique 1 à 10.	247 : Lies de vin.
77 : Betteraves.	266 bis : Marcs de fruits.
84 : Boyauderies.	316 : Oeufs.
145 : Cidreries.	325 : Os.
114 bis : Chairs, cadavres.	326 : Os, cuirs, cornes.
144 : Chrysalides.	351 : Poissons (farines).
145 : Cidreries.	352 : Poissons frais, crustacés.
150 : Cocons.	353 : Poissons salés, saurés, séchés.
154 : Cornes, sabots et onglons.	365 : Rouissage du chanvre, du lin, et autres plantes textiles.
156 : Corps gras.	367 : Salaisons.
157 : Corps gras.	369 : Salins de betteraves.
158 : Corps gras.	371 : Sang.
174 : Eaux grasses.	372 : Sang.
177 : Échaudoirs.	373 : Sang non desséché.
201 : Fromages.	380) Soies de porc et crins.
202 : Fruits et légumes.	387 bis : Suifs bruts.
204 : Fumiers.	394 : Teillage du lin, chanvre et autres plantes textiles.
219 : Graisses et suifs en branches.	400 : Triperies.
220 : Graisses et suifs non alimentaires.	

2 - Rubriques concernant certaines activités relatives aux cuirs et peaux

115 : Chamoiseries.	334 : Peaux (apprêtage).
159 : Corroieries.	336 : Peaux (pelanage).
224 : Hongroieries.	337 : Peaux et poils.
274 : Mégisseries.	338 : Peaux fraîches.
331 : Parchemineries.	339 : Peaux fraîches ou cuirs verts.
	393 : Tanneries.

3 - Rubriques concernant certaines activités mécaniques ou relatives aux véhicules et engins automobiles

068 : Atelier de réparation et entretien de véhicules et engins.
281 : Métaux et alliages (travail mécanique).
282 : Métaux et alliages (travail mécanique).
298 : Moteurs à explosion (ateliers d'essais).
299 : Moteurs à combustion interne (ateliers d'essais).
331 bis : Parcs de stationnement.

4 - Rubriques concernant certaines activités de travaux publics ou relatives aux matériaux de construction

047 bis : Amiante-ciment.	125 : Chaux, plâtres, pouzzolanes.
047 ter : Amiante.	146 : Ciments.
089 bis : Broyage, concassage.	183 bis : Enrobage au bitume de matériaux routiers.
089 ter : Broyage, concassage.	358 : Produits céramiques et réfractaires.

¹ *Ndlr* : depuis la publication de cette circulaire, la nomenclature des installations classées a subi de profondes modifications : la plupart de ces rubriques ont été regroupées sous d'autres numéros ou ont disparu.

Circulaire DPPR/SEI du 28 octobre 1996

Objet : relative à la protection de certaines installations classées contre les effets de la foudre en application de l'arrêté du 28 janvier 1993

Le ministre de l'Environnement à Mmes et MM. les préfets, M. le préfet de police :

La présente circulaire et ses annexes visent à préciser les conditions de l'arrêté du 28 janvier 1993 concernant la protection contre la foudre de certaines installations classées et de sa circulaire n° 93-17 du 28 janvier 1993.

En effet, la mise en œuvre de ces textes a soulevé quelques points techniques qui font l'objet de la présente circulaire. Elle a été élaborée en liaison avec un groupe constitué d'experts de la protection contre la foudre.

La circulaire ci-après est donc destinée à l'Inspection des installations classées afin qu'elle puisse instruire les dossiers d'étude préalable concernant le risque de foudroiement pour les installations visées par l'article 1 de la présente circulaire.

Cette circulaire s'ajoute à la circulaire n° 93-17 du 28 janvier 1993 ; elle modifie l'article 3-4 de celle-ci.

Les annexes ci-jointes concernent :

- pour l'annexe A : le déroulement de l'étude préalable ;
- pour l'annexe B : le schéma type d'une étude de risques foudres ;
- pour l'annexe C : les documents de normalisation et référentiels utilisables dans le cadre de l'application de l'arrêté du 28 janvier 1993 relatif à la protection des installations classées contre les effets de la foudre.

Vous voudrez bien m'informer sous le timbre de la direction de la prévention des pollutions et des risques des éventuelles difficultés rencontrées dans la mise en œuvre de ces dispositions.

1 - Installations visées à l'article 1 de l'arrêté à l'exception de celles visées par l'article 1^{er} de la circulaire n° 93-17 du 28 janvier 1993.

Sont concernées toutes les installations soumises à autorisation au titre de la législation des installations classées et sur lesquelles une agression par la foudre peut être à l'origine d'événements susceptibles de porter gravement atteinte à l'environnement aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'enceinte du site que ce soit par effets directs ou indirects. La gravité des atteintes peut être appréciée au regard des scénarios étudiés dans l'étude de dangers.

L'étude préalable concernant le risque foudre doit se dérouler conformément au schéma figurant en annexe A, son contenu est défini en annexe B.

2 - Protection contre les effets directs et indirects de la foudre.**2.1 - Protection contre les effets directs.**

Du fait des limites de la norme NF C 17-100 pour les installations à risques, il est nécessaire de faire appel à d'autres normes en vigueur dans un État membre de la Communauté européenne en particulier la prénorme européenne ENV 61024-1 « Protection des structures contre la foudre ». En effet, comme l'indique la norme NF C 17-100 de février 1987, celle-ci s'applique aux installations de paratonnerres destinées à protéger les bâtiments contre les coups de foudre directs. Elle ne traite pas de la protection des installations contre les surtensions d'origine atmosphérique et transmises par le réseau de distribution: les conditions de protection correspondantes sont définies dans les normes concernant les règles d'installation. Les dispositifs de la présente norme peuvent ne pas assurer la protection des matériels et des procédés sensibles installés à l'intérieur des bâtiments et qui nécessitent des mesures de protection supplémentaires.

De plus, il peut être utilisé des recommandations spécifiques dont se sont dotés certaines administrations, services publics ou exploitants d'installations à risques.

2.2 - Protection contre les effets indirects.

En l'absence de norme fonctionnelle française applicable dans le cadre de la protection contre les effets indirects, les documents cités en annexe C peuvent être utilisés.

3 - Vérification et dispositif de comptage.

Les dispositifs de protection contre la foudre feront l'objet d'une vérification de l'installation industrielle vis-à-vis des effets de la foudre après tout impact identifié.

L'installation des dispositifs de comptage pourra être limitée aux descentes de système de protection individualisé dans un but de maintenance de ces systèmes.

4 - Paratonnerres à sources radioactives.

Les paratonnerres à sources radioactives peuvent rester en place mais s'ils sont déposés, ils doivent être remis aux services de l'ANDRA (Agence nationale pour les déchets radioactifs). Pour le calcul du volume de protection, ces paratonnerres doivent être considérés comme des paratonnerres à tiges simples.

Il est rappelé que lors du démontage des paratonnerres à sources radioactives un risque de contamination non négligeable existe du fait de leur stockage dans les entreprises de démolition ou chez les installateurs qui les remplacent et que ces paratonnerres sont soumis à déclaration (rubrique 1710 de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement).

5 - Utilisation de paratonnerres.

Il serait souhaitable que l'étude de dangers tienne compte de l'utilisation de paratonnerres, afin de montrer que l'efficacité de la protection est conservée et que la présence de tel système n'engendre pas de risques connexes non envisagés au début de l'étude de risque. Il est rappelé que certains systèmes tels que les paratonnerres à dispositif d'amorçage sont considérés comme des systèmes électriques et qu'en conséquence ils doivent répondre à la réglementation applicable aux matériels électriques utilisables en atmosphères explosibles.

Le volume de protection d'un paratonnerre à dispositif d'amorçage n'est pas défini par la méthode de la sphère fictive, sa détermination résulte de calculs plus élaborés (v. la norme NF C 17-102).

6 - Descentes et prises de terre.

L'article 3-4 de la circulaire n° 93-17 du 28 janvier 1993 est remplacé par le texte suivant :

La fonction réseau de terre équipotentiel consiste à assurer l'écoulement des courants engendrés par les coups de foudre afin de réduire les potentiels considérés comme dangereux. De ce fait elle constitue l'interface entre la décharge orageuse et la terre géologique.

La norme française NF C 17-100 spécifie la valeur maximale de la prise de terre à 10 ohms. Toutefois, une bonne protection peut être assurée en privilégiant les règles de l'équipotentialité des parties métalliques des ouvrages concernés. Dans le cas du phénomène impulsionnel qu'est la foudre et qui présente de ce fait des composantes hautes fréquences, l'obtention d'une faible impédance est préférable mais pas indispensable.

Dans de nombreux cas, les réseaux de terre doivent assurer à la fois la protection contre la foudre et contre les défauts de réseaux et équipements électriques ainsi que la fonctionnalité de certains équipements. Dans ce cadre, ils doivent être conformes aux prescriptions en matière de sécurité en vigueur dans le pays (NF C 15100 et décret n° 88-1056 du 14 novembre 1988, ministère du Travail.)

La valeur de la résistance de la prise de terre doit être vérifiée avant l'interconnexion aux autres structures de l'installation également mise à la terre (ceinturage, réseaux de masse, autres prises de terre...).

L'étude des descentes, des bouclages et des prises de terre destinés à l'écoulement de la foudre doit être faite dès la conception de toute nouvelle installation, notamment dans le cadre des études concernant les fondations (connexion à fond de fouille).

L'étude de protection dépend de nombreux paramètres et en particulier :

- l'équipotentialité nécessaire et impérative des descentes de capture, des structures et parties métalliques des appareils, blindages et maillages en tout genre... ;
- la réalisation des ceintures à fond de fouilles et fondations des bâtiments ;
- les gaines métalliques enterrées (eau, gaz, électricité, télécommunications...);
- la nature du sol (résistivité) ;
- l'environnement immédiat (pylônes électriques, candélabres...).

Compte tenu des difficultés de réalisation d'un tel ensemble, il est souhaitable que l'étude de protection soit réalisée dès la conception d'implantation.

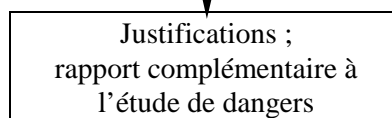
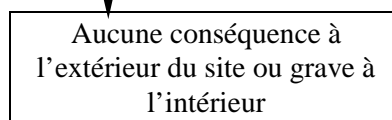
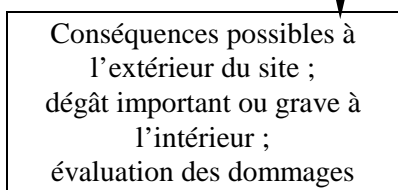
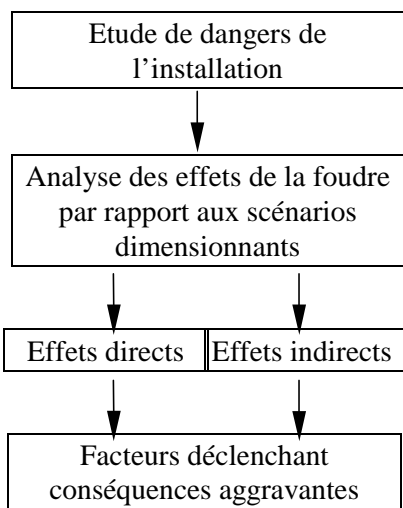
La réalisation des prises de terre doit faire l'objet d'une surveillance attentive en cours de chantier.

L'efficacité dans le temps ne peut être assurée que par l'application de mesures de maintenance adaptées. Il est préférable de surveiller l'évolution des valeurs des prises de terre plutôt que leurs valeurs intrinsèques. De même la pérennité des équipotentialités devra être surveillée.

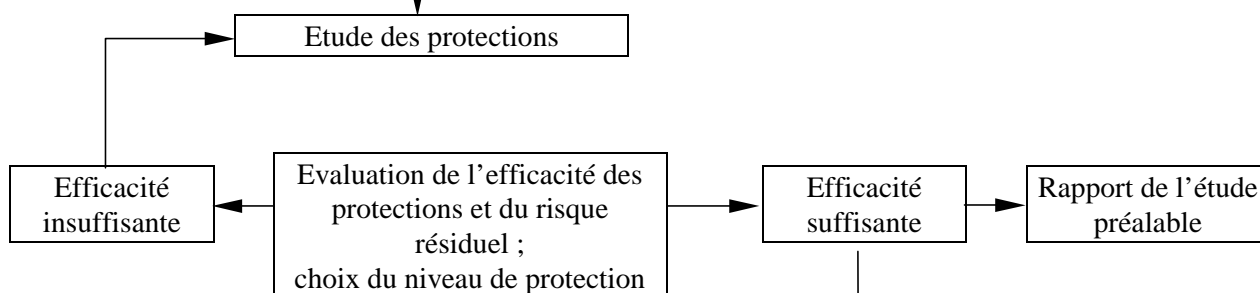
Annexe A

Déroulement de l'étude préalable

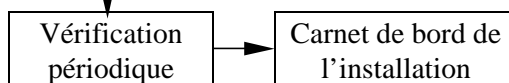
Application de l'article 1 de l'arrêté



Application de l'article 2



Application de l'article 3



Annexe B

Schéma type d'une étude de risques foudre**1 - Méthodologie.**

Dans ce chapitre on décrit la méthodologie d'analyse retenue, ainsi que les documents de normalisation pris en référence.

2 - Étude préalable de la nécessité ou non d'assurer une protection contre les effets de la foudre (Application de l'article 1er de l'arrêté).*2.1 - Détermination des risques identifiés dans les études de dangers et pour lesquels les effets de la foudre peuvent devenir un facteur déclenchant.*

Cette analyse est faite en se basant sur l'étude de dangers si elle existe et vise à identifier parmi les activités, processus et éléments à risques déclarés ceux pour lesquels une agression foudre et les effets qui s'en suivent peuvent devenir des facteurs déclenchant.

Si l'étude de dangers n'existe pas, dans le cas d'installations anciennes notamment, cette analyse doit être réalisée de façon exhaustive (v. paragraphe 2.2.).

2.2 - Description de l'installation.

L'installation, objet de l'étude, est décrite essentiellement en regard du risque foudre. Cette description comprend :

- la description dédiée de l'installation vis-à-vis du risque foudre ;
- la manière dont est construite l'installation ;
- la nature de l'exploitation et les produits qu'elle contient, en particulier ceux ayant trait à la nomenclature des installations classées ;
- les modes et procédés opératoires concernés ;
- les vecteurs de transmission des perturbations électromagnétiques entrant et sortant (énergie électrique, télécommunications, oléoducs, ...), le ou les régimes de neutre retenus ;
- les éventuels dispositifs de protection déjà installés ;
- les vecteurs de transmission des perturbations électromagnétiques internes à l'installation (énergie électrique, télécommunications, liaisons de mesure, liaisons de contrôle-commande) ;
- les circuits et réseaux de terre et de masse ;
- les systèmes de protection cathodiques s'il y en a et leur raccordement au réseau de terres et masses ;
- les antennes ;
- les réseaux d'éclairage extérieurs ;
- toute installation interne pouvant présenter une interaction directe ou indirecte avec la foudre (par exemple les réseaux d'incendie ...).

2.3 - Risques liés à la foudre.

Description des risques liés à la foudre en tenant compte de l'environnement extérieur et en étudiant les différentes interactions :

- directes foudre/structure ;
- directes foudre/produits ou contenu ;
- indirectes foudre/produits ou contenu.

La méthode de la sphère roulante fictive peut être utilisée pour déterminer les points d'impacts statistiquement les plus probables. Toutefois, cette méthode n'est pas déterministe et ne permet pas d'affirmer qu'une zone est protégée « à coup sûr ». L'ENV 61024-1 donne des valeurs de rayon de la sphère fictive à utiliser, en fonction de l'efficacité recherchée de la protection (pourcentage de coups de foudre capturés).

2.4 - *Évaluation probabiliste du risque*

L'évaluation probabiliste du risque ne présente pas un caractère d'obligation dans l'application de l'arrêté. Toutefois, les résultats qui peuvent en être retirés permettent une classification des risques internes de l'installation. Elle permet donc de définir des priorités dans le choix des protections, de classer différentes installations entre elles et de vérifier la pertinence d'un système de protection. C'est pourquoi cette analyse est conseillée.

Si elle est effectuée, elle pourra être menée suivant la méthodologie de la prénorme européenne ENV 61024-1/annexe F ou annexe B de la NF C 17-102 lorsque les effets directs sont sources de risques, ou suivant le rapport technique CEI 1662 lorsque les risques sont liés aux effets directs et indirects. Les deux méthodes font appel au modèle électrogéométrique ou méthode de la sphère fictive roulante. Elles aboutissent à la détermination d'un niveau de risque.

2.5 - *Conclusions sur la nécessité de protéger ou non l'installation.*

3 - **Étude de la mise en place d'un ou de dispositifs auxiliaires de protection ou de méthodes de protection contre les effets directs et indirects de la foudre (Application de l'article 2 de l'arrêté).**

Dans ce cas où la protection est décidée, l'étude de protection est réalisée. Cette étude est menée suivant les normes citées en annexe C.

Lorsqu'une protection existe avant l'étude et est conforme, on pourra passer directement au paragraphe 4.

3.1 - *Dimensionnement du ou des dispositifs de protection.*

L'attention est attirée sur le fait qu'il est absolument nécessaire de réexaminer l'efficacité du ou des dispositifs nouveaux de protection une fois qu'ils ont été implantés (la méthode d'analyse mentionnée au paragraphe 2.3 peut être utilisée). Cette opération est indispensable dans la mesure où ces nouveaux dispositifs de protection viennent modifier l'installation (modifications des surfaces de captation, des réseaux de terre, du comportement des protections cathodiques, ...) et par voie de conséquences le niveau de risque.

3.2 - *Procédures d'exploitation.*

Une prise en compte des effets de foudroiement dans les procédures d'exploitation peut conduire à diminuer et même annuler certains risques. Si de telles mesures sont prises à titre de méthodes de protection, elles seront décrites dans ce paragraphe (voir 4 de la circulaire n° 93-17 du 18 janvier 1993).

4 - **Procédures de maintenance des dispositifs de protection (Application de l'article 3 de l'arrêté).**

La liste des documents utilisés pour réaliser l'étude, ainsi que des vues, plans topographiques ou autres détails particuliers spécifiques figurera en annexe de l'étude préalable.

Annexe C

Documents de normalisation et référentiels utilisables dans le cadre de l'application de l'arrêté du 28 janvier 1993 relatif à la protection des installations classées contre les effets de la foudre**A - Normes françaises.**

NF C 17-100 : Protection contre la foudre - Installations de paratonnerres : Règles (février 1987).

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

NF C 17-102 : Protection contre la foudre - Protection des structures et des zones ouvertes contre la foudre par paratonnerre à dispositif d'amorçage (juillet 1995).

Ce document décrit les principales dispositions destinées à assurer la protection des bâtiments contre les coups de foudre directs par paratonnerre à dispositif d'amorçage. Le principe de la protection des bâtiments contre la foudre est basé sur le modèle électrogéométrique. Ce document comprend une méthodologie de conception d'une installation de protection contre les effets directs de la foudre prenant appui sur une évaluation du risque de foudroïement.

NF C 61-740 : Matériel pour installations alimentées directement par un réseau de distribution publique à basse tension - Parafoudres pour installation basse tension (juillet 1995).

NF C 15-100 : Installations électriques à basse tension : Règles (février 1981).

Cette norme traite de la conception, de la réalisation, de la vérification et de l'entretien des installations électriques alimentées sous une tension au plus égale à 1 000 volts (valeur efficace). Elle traite en particulier, pour ce qui nous intéresse, de la protection contre les surtensions des réseaux électriques basse et très basse tension, ainsi que des principes de mise à terre.

Guide UTE 15-443 : Protection des installations électriques basse tension contre les surtensions d'origine atmosphérique - Choix et installations des parafoudres (juillet 1996).

NF C 13-100 : Postes de livraison établis à l'intérieur d'un bâtiment et alimentés par un réseau de distribution publique de deuxième catégorie (juin 1983).

Cette norme traite des règles applicables aux installations électriques qui constituent le poste de livraison de l'énergie électrique à un utilisateur à partir du réseau de distribution publique, sous une tension nominale comprise entre 1 kV et 33 kV en courant alternatif.

NF C 13-200 : Installations électriques à haute tension : Règles (avril 1987).

Cette norme traite des règles de conception et de réalisation des installations électriques de tensions comprises entre 1 kV et 63 kV.

B - Normes européennes ou en usage dans les pays de la communauté.

Norme allemande DIN VDE 0185 (Teil 100) : Protection of structures against lightning ; Part 1 : General principles (november 1992).

Cette norme est la version allemande de la norme CEI 1024-1 : 1990 [10] complétée par le document IEC 81 (Central Office) 14, modifié par IEC 81 (Central Office) 18.

Elle correspond également à la prénorme européenne ENV 61 1024-1 : 1991.

Norme allemande DIN VDE 0185 (Teil 103) : Protection against LEMP ; Part 1 : General Principles (november 1992).

Cette norme est la version allemande du document IEC (Secrétariat) 44, devenu depuis la norme CEI 1312-1 : Protection contre l'impulsion électromagnétique générée par la foudre - Partie 1 : Principes généraux.

Norme belge NBN C 18-300 : Code de bonne pratique pour installations de paratonnerres (mai 1985 et additif de mai 1991).

Ces documents sont l'équivalent de la norme française NF C 17-100 mais sont plus détaillés. En particulier figurent dans ces normes des recommandations pour des bâtiments spéciaux (munitions réservoirs, ...).

Norme belge NBN C 18-300 : Code de bonne pratique pour la protection des installations électroniques et électriques à basse et très basse tension contre la foudre (octobre 1989).

Ce document a pour objectif de compléter le document NBN C 18100 pour la protection des installations électroniques et électriques à basse et très basse tension contre la foudre. D'aspect très pratique, il donne des indications utiles aussi bien sur les phénomènes d'induction et de conduction rencontrés que sur la mise en œuvre des dispositifs de protection et leur installation. Les principes de mise à la terre et d'établissement des équipotentielles sont également décrits.

ENV 61024-1 : Protection of structures against lightning - Part. 1 - General Principles (1994).

Prénorme européenne basée sur les normes CEI 1024-1 et 1024-1-1. Ce document contient une analyse de risques lorsque ceux-ci sont limités aux effets directs (méthode semblable à la méthode figurant dans la norme française NF C 17-102).

C - Documents équivalents.

C1 - Normes internationales. - Norme CEI 1024-1 : Protection des structures contre la foudre - Première partie : Principes généraux (mars 1983).

Cette norme fournit des informations relatives à la protection contre les effets de la foudre, destinées aux structures habituelles. On y trouve en particulier des indications sur les dispositifs de capture, sur l'utilisation des composants naturels comme dispositifs de capture, sur les descentes et sur les prises de terre. Elle a été reprise comme prénorme européenne et comme norme allemande. En raison de son caractère générique, cette norme sera utilisée de façon préférentielle.

Norme CEI 1024-1-1 : Protection des structures contre la foudre - Première partie : Principes généraux - Section 1 : Guide A - Choix des niveaux de protection pour les installations de protection contre la foudre (août 1993).

Méthodes permettant, à partir d'une analyse du risque foudre, de déterminer s'il y a besoin ou non d'installer un système de protection contre la foudre et, éventuellement, de le dimensionner.

CEI 1312-1 : Protection contre l'impulsion électromagnétique générée par la foudre - Partie 1 : Principes généraux (février 1995).

Ensemble de documents visant à protéger les systèmes électroniques (ordinateurs, matériels de télécommunication, systèmes de commande) contre les effets de la foudre. Ils viennent en complément de la norme CEI 1024-1 qui ne s'intéresse qu'à la protection des structures.

CEI 1662 : Évaluation des risques de dommages liés à la foudre (avril 1995).

Ce document est un rapport technique qui se rapporte à la norme CEI 1024-1. Il a pour but essentiel de fournir un outil permettant d'évaluer les risques de dommages liés aux effets directs et indirects de la foudre. Il permet éventuellement de sélectionner les mesures de protection à prendre.

MIL-STD-1957A (1983) : Lightning qualification test techniques for aerospace vehicles and hardware.

Normalisation avionique intéressante dans le cadre de l'étude des étincelages.

FAAAC 20 53 A : Protection of airplane fuel systems against fuel vapour ignition due to lightning (1985) and user's manual.

Normalisation avionique intéressante dans le cadre de l'étude des étincelages.

C2 - Projets de normes européennes. - prENV 50164-1 : Composants de protection contre la foudre - Prescriptions pour les composants de connexion (octobre 1993).

C3 - Projets de normes internationales. - CEI 81 (CDV) 60 IEC 1024-1 : Protection of structures against lightning Part. 1. Section 2. Guide B : Design, construction, maintenance and inspection of lightning protection systems (january 1994).

Ce document est un guide permettant de mettre en œuvre la norme générique 1024-1 du point de vue de la conception physique, de la construction, de la maintenance et de la vérification du système de protection.

CEI 81/63/CD : IEC 1312-2 Protection against lightning Electromagnetic Impulse - Part 2 : Electromagnetic fields inside structures in case of direct and nearby lightning strikes (novembre 1994).

CEI 81/64/CD : IEC 1312-3 Protection against lightning Electromagnetic Impulse - Part 3 : Requirements of surge protective devices (novembre 1994).

CEI 81/65/CD : IEC 1312-4 Protection against lightning Electromagnetic Impulse - Part 4 - Application Guide for protection against LEMP for existing structures (novembre 1994).

Ensemble de documents visant à protéger les systèmes électroniques (ordinateurs, matériels de télécommunication, systèmes de commande) contre les effets de la foudre. Ils viennent en complément de la norme CEI 1024-1 qui ne s'intéresse qu'à la protection des structures.

C4 - Documents ayant valeur de normes et de Codes. - UIC : Recommandations pour la protection des installations industrielles contre les effets de la foudre et des surtensions (juin 1991).

UIC : Compléments au cahier technique UIC (édition 1991) - Recommandations pour la protection des installations industrielles contre les effets de la foudre et des surtensions, pour l'application de l'arrêté du 28 janvier 1993 concernant la protection contre la foudre de certaines installations classées (octobre 1993).

Ces deux documents sont cités en référence par l'arrêté du 28 janvier 1993. Ils sont directement utilisables pour la protection des installations d'hydrocarbures contre les effets de la foudre.

GESIP : Recommandations pour la protection contre la foudre des installations pétrolières et pétrochimiques - Rapport no 94/02.

Ce document est directement utilisable pour la protection des installations à risques contre les effets de la foudre. Il a été établi pour répondre aux demandes de l'arrêté dans le cas particulier des installations pétrolières et pétrochimiques. Il fait référence aux normes françaises NF C 15-100 et NF C 17-100, ainsi qu'à la norme CEI 1024-1. Il cite également les cahiers de l'UIC.

NFPA 780 : Lightning Protection Code - 1992, Édition 1992.

Ce Code est particulièrement intéressant car, c'est, à notre connaissance, la seule norme qui traite explicitement de la protection des installations à risques.