



INSTITUT NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL ET DES RISQUES

**Méthodes pour l'évaluation et la prévention
des risques accidentels
(DRA-006)**

Ω-3

**Le risque foudre et les Installations
Classées pour la Protection de
l'Environnement**

Direction des Risques Accidentels

Septembre 2001

Ω-3



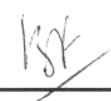
Le risque foudre et les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement

INERIS

Ce document comporte 66 pages, hors annexes et couverture

DIRECTION DES RISQUES ACCIDENTELS

Septembre 2001

PAGE DE VALIDATION			
Ω-3 : LE RISQUE Foudre POUR LES ICPE			
Rédaction initiale			
Auteurs	Qualité	Date	Emargement
P. Gruet	Ingénieur DCE		
Dans le cadre de la procédure générale qualité de l'INERIS et en respect du paragraphe 14.2 du manuel qualité, ce document a fait l'objet de relectures et d'un contrôle par des vérificateurs			
Relecteurs	Qualité	Date	Emargement
E. Bernuchon	Responsable Programme	14/09/01	
Vérificateur final	Qualité	Date	Emargement
D. Gaston	Délégué Scientifique DRA	15/09/01	
Approbateur	Qualité	Date	Emargement
B. Faucher	Directeur DRA	19/09/01	

Personnes ayant participé à la relecture : D. Charpentier

Répertoire des modifications

Révision	Relecture	Application	Modifications
Version 1	Septembre 2001	10/09/01	Rapport final version 1

PREAMBULE

Le présent document a été établi :

- au vu des données scientifiques et techniques disponibles ayant fait l'objet d'une publication reconnue ou d'un consensus entre experts,
- au vu du cadre légal, réglementaire ou normatif applicable.

Il s'agit de données et informations en vigueur à la date de l'édition du document, le 05 juillet 2001.

Le présent document comprend des propositions ou recommandations. Il n'a en aucun cas pour objectif de se substituer au pouvoir de décision du ou des gestionnaire(s) du risque ou d'être partie prenante.

TABLE DES MATIERES

1	OBJECTIF ET DOMAINE D'APPLICATION	6
1.1	Objectif.....	6
1.2	Domaine d'application	6
1.1.1	Rappel succinct sur le phénomène.....	6
1.1.2	Démarche observée.....	7
2	ANALYSE D'ACCIDENTS	8
2.1	Statistiques générales	8
2.1.1	Considérations factuelles.....	8
2.1.2	Niveau céramique en France	8
2.1.3	Densité de foudroiement en France.....	9
2.2	Analyse d'accidents dus à la foudre.....	10
2.2.1	Présentation	10
2.2.2	Résultats de l'analyse d'accidents	10
2.2.3	Conclusions relatives à l'analyse d'accidents.....	11
3	DÉFINITIONS PRINCIPALES	12
3.1	Physique des orages et de la foudre	12
3.2	Paramètres électriques de la foudre.....	16
4	DESCRIPTION DU PHÉNOMÈNE DE Foudre	19
4.1	Le phénomène de foudre.....	19
4.1.1	Rappels	19
4.1.2	Formation d'un nuage orageux.....	20
4.1.3	Types de coups de foudre	21
4.1.4	Points d'impact.....	23
4.2	Caractéristiques électriques des coups de foudre	24
4.2.1	Intensité des différents coups de foudre	24
4.2.2	Caractéristiques des différents coups de foudre	25
4.3	Effets de la foudre sur des installations	26
4.3.1	Effets thermiques	27
4.3.2	Montées en potentiel et amorçages.....	27
4.3.3	Effets électromagnétiques.....	27
4.3.4	Effets électrodynamiques	29
4.3.5	Effets électrochimiques	29
4.3.6	Effets acoustiques	29
4.3.7	Effets lumineux	29
4.4	Accidents corporels dus à la foudre	30
4.4.1	Différents types de foudroiement	30
4.4.2	Les pathologies de la foudre.....	31
4.4.3	Recommandations en cas d'orage pour la protection des personnes.....	31

5	ETUDE GÉNÉRIQUE POUR LA PROTECTION CONTRE LA Foudre	33
5.1	Rappel du contexte réglementaire et normatif	33
5.1.1	Arrêté du 28 janvier 1993 - circulaires d'application	34
5.1.2	Normes	34
5.2	Plan type proposé par l'INERIS	35
5.3	Présentation du contenu des principaux chapitres d'une étude foudre.....	36
5.3.1	Chapitre I : Introduction	36
5.3.2	Chapitre II : Description des installations	36
5.3.3	Chapitre III : Evaluation des protections nécessaires	38
5.3.4	Détermination des protections contre les effets indirects	47
5.4	Evaluation du niveau de protection existant	56
5.5	Préconisations de protection.....	58
5.6	Réaliser et maintenir un niveau de protection	63
5.6.1	Mise en conformité des installations	63
5.6.2	Vérifications périodiques.....	65
5.6.3	Influence des travaux neufs	66
6	LISTE DES ANNEXES	67

1 OBJECTIF ET DOMAINE D'APPLICATION

1.1 OBJECTIF

Depuis l'année 2000, le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement finance un programme d'études et de recherches, intitulé « Recueil des méthodes utilisées à l'INERIS dans le domaine des risques accidentels » (DRA-006).

L'objet de ce programme est de réaliser un recueil global formalisant l'expertise de l'INERIS dans le domaine des risques accidentels. Ce recueil sera constitué de différents rapports consacrés aux thèmes suivants :

- les phénomènes physiques impliqués en situation accidentelle (incendie, explosion, BLEVE...)
- l'analyse et la maîtrise des risques,
- les aspects méthodologiques pour la réalisation de prestations réglementaires (étude de dangers, analyse critique..)

Chacun de ces documents reçoit un identifiant propre du type « Ω-X » afin de faciliter le suivi des différentes versions éventuelles du document.

In fine, ces documents décrivant les méthodes pour l'évaluation et la prévention des risques accidentels, constitueront un recueil des méthodes de travail de l'INERIS dans le domaine des risques accidentels.

1.2 DOMAINE D'APPLICATION

Le présent rapport, baptisé « Ω-3 », présente la démarche adoptée par l'INERIS concernant le risque lié à la foudre pour les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE).

Il s'inscrit dans une démarche de valorisation du savoir-faire de l'INERIS auprès des pouvoirs publics, des industriels et du public.

1.1.1 RAPPEL SUCCINCT SUR LE PHENOMENE

La foudre est une manifestation de l'électricité d'origine atmosphérique. Elle se caractérise par une décharge électrique violente entre un nuage et le sol et s'accompagne :

- d'une émission de lumière vive (éclair),
- d'une violente détonation (tonnerre).

La foudre est généralement liée à une situation atmosphérique instable permettant la formation de cumulo-nimbus, masse puissante de nuages sombres. Les cumulo-nimbus sont des lieux propices aux phénomènes orageux, générateurs de foudre.

Les conséquences liées à la foudre peuvent être particulièrement lourdes tant pour ce qui concerne les individus que les structures.

Les effets dus à la foudre est similaire à ceux engendrés par tout courant électrique circulant dans un corps conducteur, à savoir :

- des effets thermiques (effet Joule),
- des effets dus aux amorçages (montées en potentiel des prises de terre et aux tensions dangereuses dues à l'impédance élevée des conducteurs en haute fréquence),
- des effets électromagnétiques,
- des effets électrodynamiques,
- des effets électrochimiques,
- des effets acoustiques (tonnerre)
- des effets lumineux (éclairs).

Le présent document s'attache essentiellement à mettre en lumière le risque que constitue la foudre pour les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE), compte tenu notamment de l'arrêté du 28 janvier 1993 concernant la protection contre la foudre de certaines installations classées.

1.1.2 DEMARCHE OBSERVEE

Après cette brève description du phénomène, nous adopterons la démarche suivante pour l'étude du risque foudre concernant les installations classées pour la protection de l'environnement.

Le chapitre 2 de ce document présente une brève synthèse des accidents liés à la foudre et ayant affecté principalement des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement.

Ensuite, les définitions principales, utiles pour la compréhension du phénomène, ont été extraites du Glossaire édité par l'Association Foudre et sont présentées dans le chapitre 3.

Le chapitre 4 décrit les principaux phénomènes physiques associés à la foudre.

Enfin, le dernier chapitre livre la méthode adoptée par l'INERIS dans le cadre de la réalisation d'étude générique pour la protection contre la foudre.

2 ANALYSE D'ACCIDENTS

L'objet de ce chapitre est de mettre en lumière les conséquences engendrées par la foudre à travers quelques statistiques d'ordre général et une analyse d'accidents survenus dans le milieu industriel.

2.1 STATISTIQUES GENERALES

2.1.1 CONSIDERATIONS FACTUELLES

Dans le monde, la foudre frappe de 50 à 100 fois par seconde. Pour ce qui concerne le territoire français, on estime à 2 000 000 environ le nombre de coups de foudre observés par an.

Les conséquences de ce phénomène atmosphérique sont particulièrement importantes. Ainsi, on compte en moyenne sur le territoire français :

- plusieurs dizaines de morts par an,
- 20 000 animaux foudroyés dont 10 000 vaches,
- environ 20 000 sinistres dus à la foudre dont 15 000 incendies,
- des milliers de compteurs détruits.

D'un point de vue financier, le coût annuel des dommages se chiffre en milliards de francs.

2.1.2 NIVEAU KERAUNIQUE EN FRANCE

L'activité orageuse d'une commune peut être quantifiée par un niveau kéraunique.

Le niveau kéraunique est défini comme étant le nombre moyen de jours par an au cours desquels le tonnerre est entendu.

En France, ce nombre varie de 8 à 36 selon les départements avec une moyenne se situant autour de 25.

La Figure 1 présente, à titre indicatif, une carte des niveaux kérauniques en France.

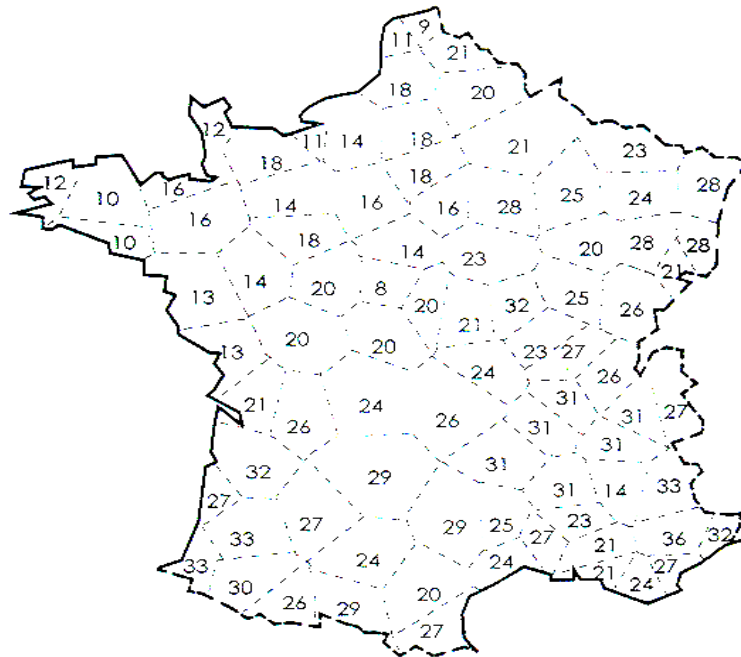


Figure 1 : Carte de France des niveaux kérauniques

Signalons qu'il est possible d'obtenir le niveau kéraunique d'une commune en consultant la base de données de METEORAGE accessible par Minitel.

2.1.3 DENSITE DE FOURDROIEMENT EN FRANCE

Depuis une quinzaine d'années, des équipements électroniques ont été développés et mis en service sur le territoire français pour enregistrer avec la meilleure précision possible les caractéristiques des coups de foudre. Avec ces données, il est maintenant possible d'obtenir une indication plus précise sur le nombre de coups de foudre qui ont frappé une commune.

Cette information est la densité de foudroiement. Elle indique le nombre d'impacts par an et par km² d'une commune.

En France, la densité de foudroiement varie de 0,5 à 5 selon les départements avec une moyenne se situant autour de 1,2.

La densité de foudroiement est utilisée pour l'évaluation de la fréquence attendue des coups de foudre directs sur une structure dans la norme NF C 17-100. Cette norme contient une carte de France qui représente la densité de foudroiement par département. Il est également possible d'obtenir la densité de foudroiement d'une commune en consultant la base de données de METEORAGE accessible par Minitel.

2.2 ANALYSE D'ACCIDENTS DUS A LA Foudre

2.2.1 PRESENTATION

L'analyse d'accidents menée dans le cadre du présent rapport a été établie à partir de données issues de la base de données ARIA du BARPI (Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industrielles). Ainsi, l'analyse concerne 57 accidents survenus en France (30 cas) ou à l'étranger (27 cas) depuis la fin des années 1970 jusqu'au mois de juin 2000. Un descriptif synthétique de ces accidents est fourni en Annexe 1 du présent rapport.

Compte tenu du nombre limité de références, il est bien entendu difficile d'en tirer des conclusions statistiques définitives. Néanmoins, l'examen de ces accidents permet de mettre en lumière quelques-unes des principales caractéristiques des sinistres initiés par la foudre.

2.2.2 RESULTATS DE L'ANALYSE D'ACCIDENTS

Les résultats de cette analyse montrent que :

- 1) Il est difficile de préjuger des installations particulièrement exposées au foudroiement. A ce titre, il convient de souligner que les accidents répertoriés concernent des sinistres importants initiés par la foudre et que l'importance de ces dommages est bien entendu à mettre en relation avec la nature des activités concernées.

Notons ainsi simplement que, sur les 57 accidents répertoriés :

- 9 concernent des activités de raffinage de pétrole (16 %),
- 10 concernent des installations de l'industrie chimique de base (17,5 %),
- 5 concernent des installations de transport par canalisation (9 %),
- 6 concernent des installations associées aux activités de culture et d'élevage (10,5 %).

- 2) Sur les cas répertoriés, la foudre a principalement affecté des réservoirs (30 %), les structures de bâtiments (17,5 %) et également des organes de sécurité (16 %). Parmi les autres équipements touchés, on notera notamment les canalisations (7 %) ainsi que les organes de production (réacteurs,...)

- 3) Relativement aux 57 cas étudiés, plus de la moitié (51 %) des accidents initiés par la foudre concerne des incendies. Toutefois, la foudre peut également être à l'origine des accidents suivants :

- Explosion (14 %),
- Feu torche (9 %),
- Pollution (5 %),
- Dispersion de nuage toxique (12 %).

- 4) Lorsque les données sont disponibles, les dégâts se chiffrent en millions de francs ou de dollars.

- 5) Les conditions météorologiques en situation orageuse peuvent rendre l'intervention des secours difficile et participer à l'extension des dommages liés au sinistre.

- 6) Dans un cas sur quatre, l'accident initié par la foudre a conduit à une propagation du sinistre par effet domino.
- 7) La foudre peut initier un sinistre de manière directe (foudroiement d'un réservoir, d'une canalisation...) ou de manière indirecte (dysfonctionnement d'organes de sécurité dû à la foudre...). Ce dernier cas représente environ 16 % des accidents relevés.

2.2.3 CONCLUSIONS RELATIVES A L'ANALYSE D'ACCIDENTS

La foudre représente une cause significative d'accident majeur en milieu industriel, dont les dommages peuvent se chiffrer, pour une installation, à plusieurs millions de francs.

La foudre est susceptible d'affecter tous les types d'activités, même si les accidents relevés concernent plus particulièrement les raffineries et les industries de la chimie de base.

En terme d'accidents, la foudre conduit principalement à des incendies.

La foudre peut conduire à un sinistre de manière indirecte en entraînant la défaillance d'organes électriques de sécurité ou de contrôle.

3 DEFINITIONS PRINCIPALES

Avant de poursuivre plus avant la description du phénomène de foudre, il convient de préciser la signification de termes qui seront utilisés de manière récurrente dans la suite de ce document.

Ainsi, les paragraphes suivants présentent quelques éléments de définitions, extraits du Glossaire édité par l'Association Foudre, rédigé par M. Claude GARY.

3.1 PHYSIQUE DES ORAGES ET DE LA Foudre

Orage

Phénomène météorologique d'instabilité atmosphérique, au cours duquel des turbulences développent des charges électriques dans l'air, notamment au sein de nuages orageux. Ces charges sont la cause de décharges électriques violentes, dites "décharges atmosphériques".

Nuage orageux :

On distingue deux types de nuages orageux :

- les cumulonimbus, grosses masses en forme d'enclume, qui donnent lieu aux orages de chaleur, très localisés et de durée limitée,
- les orages frontaux ou lignes de grains, qui peuvent se propager sur des milliers de kilomètres.

Dans les deux cas, ces nuages sont le siège de charges électriques, les charges positives étant rassemblées à leur sommet, et les charges négatives à leur base. Un îlot de charges positives existe parfois à la base d'un nuage.

Champ électrique au sol

La dissociation des charges dans le nuage orageux entraîne la génération d'un champ électrique intense dans l'espace nuage-sol. Lorsque qu'il atteint, au niveau d'un sol plan, une intensité de 4 à 10 kilovolts par mètre, selon les conditions locales, une décharge au sol est imminente. Commentaire : les charges électriques induites à la surface du sol par le nuage sont généralement positives. Le vecteur représentatif du champ est alors vertical, orienté du sol vers le nuage.

Eclair

Dans le langage courant, on désigne par le terme "éclair" la manifestation lumineuse d'une décharge atmosphérique.

Eclair inter-nuage / intra-nuage

Décharge électrique d'origine atmosphérique qui se développe à l'intérieur d'un nuage orageux (éclair intra-nuage) ou entre nuages (éclair inter-nuages). Ce type d'éclairs n'est pas pris en considération pour la protection des installations au sol.

Foudre / Eclair à la terre

Décharge électrique violente d'origine atmosphérique, qui se développe entre un nuage et la terre, consistant en un ou plusieurs coups de foudre (CEI 1024-1).

Commentaire : il existe plusieurs types de foudre / d'éclairs, qui seront décrits plus loin.

Canal ionisé / Canal de foudre

Chemin filiforme faiblement conducteur, présentant de multiples ramifications, qui se trace à travers l'air atmosphérique, sous l'effet d'un processus d'ionisation. Au passage de courants de foudre, il s'échauffe jusqu'à des températures de 300 000°K et devient fortement conducteur : c'est le Canal de Foudre. Son diamètre est alors de l'ordre du centimètre.

Ion, Ionisation

Un ion est un atome ou une molécule portant une charge électrique soit par déficit (ion positif), soit par apport (ion négatif) d'un ou de plusieurs électrons. L'ionisation est l'ensemble des processus physiques par lesquels les ions sont créés.

Foudre négative descendante, Eclair négatif descendant

C'est la foudre normale, la plus fréquente en plaine et en terrain vallonné (en France, 90% des éclairs sont, en moyenne sur une année, négatifs ; en fait, cette proportion varie de 60% en hiver à 95% en été, le reste est constitué d'éclairs positifs). Elle se compose de plusieurs phases successives décrites ci-dessous.

Traceur descendant / Traceur par bonds / Précurseur par bonds

Première phase : formation d'un canal ionisé faiblement lumineux, issu du nuage, portant des charges négatives, et qui progresse par bonds vers la terre. C'est donc un traceur négatif.

Prédécharge ascendante / Traceur ascendant

Deuxième phase : lorsque le traceur descendant s'est suffisamment approché du sol, des "prédécharges ascendantes" naissent en différents points du sol, préférentiellement à partir d'aspérités ou d'objets pointus, et se développent en direction du traceur. L'une de ces prédécharges rencontre le traceur descendant, c'est pourquoi cette prédécharge est appelée "décharge de capture" ; c'est elle qui détermine le(s) point(s) d'impact(s) de la foudre au sol.

Arc en retour

Troisième phase : la rencontre entre le traceur descendant et la décharge de capture établit un pont conducteur entre le nuage et le sol, par lequel va pouvoir s'écouler un intense courant électrique, se propageant de la terre vers le nuage, et neutralisant celui-ci. Ce courant, de nature impulsionnelle, est appelé "arc en retour". Il est la cause de la violente illumination du canal de foudre; il est responsable du tonnerre, mais surtout des dégâts produits par un foudroiement. Un éclair négatif descendant peut comporter plusieurs arcs en retour successifs.

Coup de foudre

L'un des arcs en retour lors d'un éclair à la terre, qui peut être respectivement le premier coup" ou l'un des "coups subséquents ".

Foudre positive

Décharge électrique issue d'une zone de nuage portant des charges positives. Ce type de décharge atmosphérique débute également par un traceur, portant ici des charges positives, et ne comporte qu'un seul arc en retour, toutefois de beaucoup plus longue durée que les arcs en retour négatifs. Seuls 10 % des coups de foudre sont positifs, mais ils causent des dégâts plus importants, en raison de la forte énergie qu'ils dissipent.

Foudre ascendante / Eclair ascendant

Lorsqu'une décharge ascendante est issue d'une aspérité de grande hauteur (pic montagneux, tour de télévision, immeuble de grande hauteur), elle peut se développer jusqu'au sein du nuage, même en l'absence de tout traceur descendant. Ce type de décharge atmosphérique peut comporter plusieurs arcs en retour, mais dissipe généralement une énergie modérée.

Courant persistant

Pendant l'intervalle entre les courants d'arcs en retour, il subsiste souvent un courant permanent de faible intensité (de l'ordre de quelques centaines d'ampères), dont l'extinction coïncide avec la fin du coup de foudre.

Effet de couronne

Phénomène d'ionisation dans l'air, qui se déclenche lorsque le champ électrique dépasse, à pression atmosphérique normale, une amplitude de 26 kilovolts par centimètre. Ce phénomène se développe généralement au sommet d'un objet conducteur pointu, où il y a amplification locale du champ ambiant. Il prend la forme d'effluves de couleur bleu-violette, et le processus physique correspondant est l'avalanche électronique.

La formation d'un effet de couronne est la condition nécessaire au développement d'une prédécharge ascendante.

Feu de St-Elme

Nom ancien de l'effet de couronne, donné par les navigateurs du Moyen-Age, alors qu'ils observaient ce "feu" au sommet des mats de leurs navires.

Point d'impact

Point où un coup de foudre frappe la terre, une structure ou une installation de protection contre la foudre.

Effet indirect

Effet d'un coup de foudre frappant le sol au voisinage d'une structure, d'un bâtiment ou d'une ligne aérienne, mais pouvant néanmoins causer des dommages.

Foudroiement

Action de la foudre sur un objet ou sur une construction quelconque ou sur un homme ou un animal.

Kéraunique

Adjectif issu du mot grec keraunos (= foudre), il qualifie tout ce qui se rapporte aux phénomènes orageux et à leurs conséquences.

Densité de foudroiement

Cette densité s'exprime en nombre d'impacts par kilomètre carré et par an. Pour le territoire français, elle est comprise entre moins de 1 impact / km².an et 4 impacts / km².an. Cette densité est déterminée scientifiquement à partir de capteurs répartis sur le territoire.

On définit aussi une densité d'arcs en retour. La densité moyenne d'arcs en retour vaut à peu près 2,2 fois la densité d'impacts (NF C 17-102).

Distance d'amorçage

Distance entre le point d'origine de la décharge de capture et le point de rencontre avec le traceur descendant. Cette distance joue un rôle essentiel dans la définition de la zone de protection d'un paratonnerre (voir ces termes).

3.2 PARAMETRES ELECTRIQUES DE LA Foudre

Forme du courant d'arc en retour

Ce courant est de nature impulsionnelle, et sa forme se caractérise par une valeur de crête, un front de montée jusqu'à la crête (ou temps de montée), un temps de décroissance.

Valeur de crête du courant

Valeur maximale atteinte par l'intensité d'une impulsion de courant. Cette valeur est variable d'un coup de foudre à l'autre, et couvre une très grande plage d'intensités. Les valeurs de crête s'étendent de 2 à 200 kilo-ampères pour les coups négatifs, avec une médiane d'environ 30 kilo-ampères, et de 5 à 300 kilo-ampères pour les coups positifs, avec une médiane d'environ 35 kilo-ampères.

Temps de montée

Durée entre l'instant du début de l'impulsion de courant et l'instant où ce courant atteint sa valeur maximale. Cette durée est de 2 à 20 microsecondes pour le "premier coup", de 0,1 à 1 microseconde pour les "coups subséquents" des coups de foudre négatifs. Elle est de l'ordre de 100 à 200 microsecondes pour les coups positifs.

Durée conventionnelle de front

L'instant de début de l'impulsion étant souvent malaisé à déterminer, on définit une origine et une durée de front conventionnelles comme suit :

- pour une tension :

Soit T_{90} le temps où l'impulsion atteint 90 % de sa valeur de crête, et T_{30} le temps correspondant à 30 % de cette valeur.

L'origine conventionnelle est le point d'intersection de la droite passant par ces deux points avec l'axe du temps ; la durée conventionnelle de front est donnée par $T_f = 1,67 (T_{90} - T_{30})$

- pour un courant :

soit T_{90} le temps où l'impulsion atteint 90 % de sa valeur de crête, et T_{10} le temps correspondant à 10 % de cette valeur.

L'origine conventionnelle est le point d'intersection de la droite passant par ces deux points avec l'axe du temps; la durée conventionnelle de front est donnée par $T_f = 1,25 (T_{90} - T_{10})$.

Temps de décroissance

Durée entre l'origine conventionnelle et l'instant où la valeur de l'onde est retombée à 50 % de la valeur de crête. Pour les courants de foudre, cette durée est de l'ordre de 100 microsecondes pour les coups négatifs, et de l'ordre de 1000 microsecondes pour les coups positifs.

Raideur de l'impulsion

Elle s'exprime en kilo ampères par microseconde. La raideur maximale a toujours lieu au cours du front de montée. On utilise souvent la raideur moyenne du front de montée : c'est le quotient de la différence des valeurs de courant au début et à la fin d'un intervalle de temps spécifié, par cet intervalle de temps, soit : $(i(t_2)-i(t_1)) / (t_2-t_1)$. La médiane de cette raideur étant de 30 à 40 KA/μs, celle-ci peut atteindre 150 KA/μs. Ce paramètre sert au calcul des tensions induites dans les circuits électriques proches du canal de foudre.

Energie spécifique

Elle s'exprime en joules par ohm ou en ampères carrés x seconde, et représente l'énergie que le courant d'un coup de foudre peut dégager dans une résistance de un ohm. Ce paramètre sert à l'estimation des effets thermiques de la foudre. Sa valeur est comprise entre 6.10^3 J/Ω pour un coup faible négatif et $1,5.10^7$ J/Ω pour un violent coup positif.

Charge totale

Elle s'exprime en coulombs, et représente la charge électrique totale écoulee par un éclair. Elle se définit aussi par l'intégrale par rapport au temps du courant de foudre pendant la durée totale de l'éclair. Ce paramètre sert à l'estimation de la quantité de métal fondu au point d'impact, sur une tige de paratonnerre ou sur une tôle. La charge d'un coup de foudre est comprise entre 1 C pour un coup faible négatif et 350 C pour un violent coup positif, avec une médiane d'environ 10°C.

Charge impulsionnelle

Charge électrique écoulee par une impulsion individuelle d'un coup de foudre. Elle se définit aussi par l'intégrale par rapport au temps du courant de foudre pendant la durée de l'impulsion.

Durée d'un éclair

Durée totale pendant laquelle un courant s'écoule par le canal de foudre, comprenant les courants d'arc en retour et le courant persistant. En moyenne d'une centaine de millisecondes, cette durée peut atteindre 3 secondes pour les coups de foudre très violents.

Nombre d'arcs en retour

Ce nombre inclut le premier coup et les coups subséquents. En moyenne de 2 arcs, ce nombre peut atteindre 12 arcs pour les coups de foudre très violents, et même quelques dizaines exceptionnellement (des valeurs de 34 dans le Massif Central, 40 en Autriche, ont été observées).

Onde de choc acoustique, tonnerre

Onde de pression dans l'air au voisinage immédiat du canal de foudre, générée par la violente expansion de ce canal sous l'effet des hautes températures atteintes dans son cœur. Cette onde se propage d'abord avec une vitesse supérieure à la vitesse du son dans l'air, puis évolue progressivement en onde acoustique, dont le tonnerre est la manifestation. Au voisinage immédiat de l'arc en retour, la surpression atteint 20 bars, et à 5 mètres, elle est encore de plusieurs bars.

4 DESCRIPTION DU PHENOMENE DE Foudre

L'objet du présent chapitre est de donner une description synthétique du phénomène de foudre ainsi que de préciser les effets possibles de cette manifestation atmosphérique. La définition des termes utilisés ci-après est donnée dans le chapitre 3 « Définitions principales ».

4.1 LE PHENOMENE DE Foudre

4.1.1 RAPPELS

4.1.1.1 LES MANIFESTATIONS DE LA Foudre : ECLAIR ET TONNERRE

La foudre est une manifestation de l'électricité d'origine atmosphérique, comportant une décharge accompagnée d'une vive lumière (éclair) et d'une violente détonation (tonnerre).

Le terme d'éclair représente l'ensemble des manifestations lumineuses provoquées par les décharges électriques d'origine atmosphérique.

Le tonnerre est le bruit induit par la décharge électrique (entre deux nuages ou entre la base d'un nuage et le sol, ou à l'intérieur d'un même nuage).

La vitesse de la lumière étant de 300 000 km/s, l'éclair est perçu au moment où il se produit. En revanche, le son se propageant à 340 m/s seulement, le tonnerre est perçu sensiblement après l'éclair.

Le nombre n de secondes qui s'écoulent entre ces deux phénomènes permet d'estimer la distance d en mètres, qui sépare l'observateur de la décharge orageuse grâce à la formule suivante :

$$d=340 n$$

4.1.1.2 CONDITIONS D'OCCURRENCE

La foudre est une des manifestations des orages, perturbations atmosphériques violentes, accompagnée d'éclairs, de tonnerre, de rafales de vent, d'averses de pluie ou de grêle.

La naissance de ces phénomènes orageux est généralement subordonnée à une grande instabilité atmosphérique, soit à des différences importantes de température entre l'air au niveau du sol et l'air en altitude. Ceci explique pourquoi les orages « électriques »¹ sont plus généralement observés en été qu'en hiver où cette différence de température peut ne pas être suffisante pour générer une grande instabilité.

¹ Il existe également des orages magnétiques. Ces phénomènes particuliers sont généralement observés à es latitudes élevées et ne seront pas étudiés dans le cadre de cette étude.

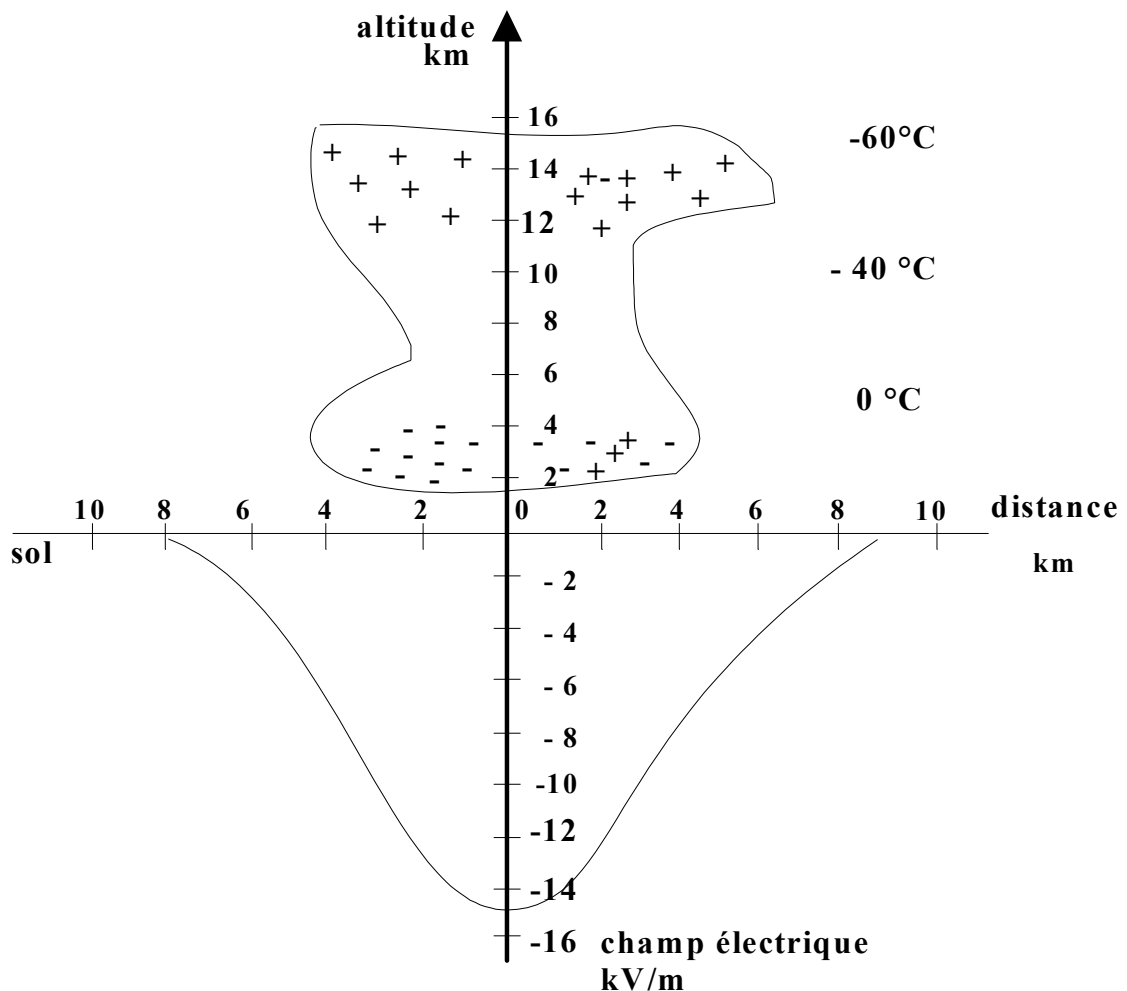
Il existe deux types de nuages orageux :

- les cumulo-nimbus, qui donnent lieu aux orages de chaleur, très localisés et de durée limitée,
- les orages frontaux ou lignes de grains

Dans ces deux cas, les nuages sont le siège de charges électriques et peuvent ainsi être à l'origine du phénomène de foudre. Dans le cadre du présent document, les cas correspondant à la formation de cumulo-nimbus seront étudiés plus particulièrement.

Le cumulo-nimbus est une masse puissante de nuages sombres, en forme de double enclume à grand développement vertical (300 à 15 000 m d'altitude) et s'étendant sur une surface de plusieurs km². Le volume d'eau du nuage orageux peut atteindre 50 km³.

4.1.2 FORMATION D'UN NUAGE ORAGEUX



Un nuage orageux, le cumulo-nimbus, s'étend sur plusieurs kilomètres carrés et se développe en hauteur jusqu'à des altitudes de 15 kilomètres. Comme cela a été évoqué, la formation de ce type de nuage est généralement liée à une grande instabilité atmosphérique, caractérisée par des différences de températures importantes entre les masses d'air au niveau du sol et les masses d'air en altitude.

Les mouvements convectifs et les trajectoires des précipitations au sein du nuage provoquent la génération d'hydrométéores chargés électriquement puis entraînent leur séparation. Les particules chargées positivement sont repoussées vers le haut, celles chargées négativement, plus lourdes, tombent vers la base du nuage.

La structure électrostatique de la cellule orageuse est proche de celle d'un dipôle d'axe vertical formé de deux poches de charges de signe opposé et évaluées à plusieurs dizaines de coulombs. Des petites poches chargées positivement peuvent éventuellement être présentes à la base du nuage. Le champ électrique au sol correspondant à cette configuration est vertical et son amplitude varie avec la distance au centre du nuage.

Par beau temps, le champ électrique au sol est de l'ordre de la centaine de volts par mètre. A l'approche d'un nuage chargé, il s'inverse et son amplitude évolue jusqu'à atteindre 250 fois sa valeur initiale.

4.1.3 TYPES DE COUPS DE Foudre

Les aspérités du sol ou des structures créent un " effet de pointe " qui amplifie de façon très importante le champ électrique local.

Cette augmentation du champ électrique au sol se traduit par une ionisation locale de l'air (effet "Corona"). Ce phénomène est observé depuis longtemps et est ainsi connu sous l'appellation « feu de Saint-Elme ». Un canal d'air ionisé reliant le nuage au sol est alors susceptible de se créer et de permettre l'écoulement d'un courant de foudre de forte intensité.

On distingue quatre types caractéristiques de coups de foudre, selon qu'ils sont négatifs ou positifs et descendants ou ascendants.

En France, 90 % des coups de foudre sont de type négatifs descendants. L'amplitude du courant peut être très forte, variant de 2 000 à 200 000 Ampères.

– *Le coup négatif :*

Le bas du nuage est chargé négativement. Les décharges sont multiples et variées : à une première décharge partielle de durée de front de 10 à 15 μ s succèdent des décharges d'attaque plus raides et de descentes plus douces.

– *Le coup positif :*

Le bas du nuage est chargé positivement. Une seule décharge apparaît durant de 0,1 s à 0,2 s. La durée d'attaque varie entre 20 μ s et 50 μ s et l'amplitude du courant des "coups positifs" est généralement supérieure à celle des "coups négatifs".

– *Le coup descendant :*

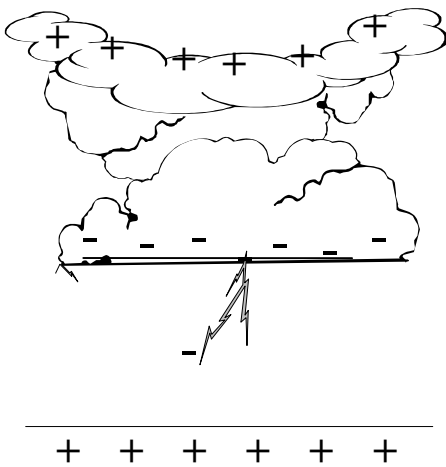
Caractérisé par son arborescence ouverte vers le bas, c'est le plus fréquent. Il comporte une phase initiale où une pré-décharge se propage par bonds successifs du nuage vers le sol (traceur). A l'extrémité de ce traceur, le champ électrique est extrêmement élevé, ce qui augmente localement le champ au sol.

Dès que la pointe du traceur approche du sol, des pré-décharges ascendantes vont se développer à partir du sol. Lorsque ces deux canaux se rejoignent, un pont conducteur entre nuage et sol s'établit et permet ainsi le passage d'un courant de forte intensité.

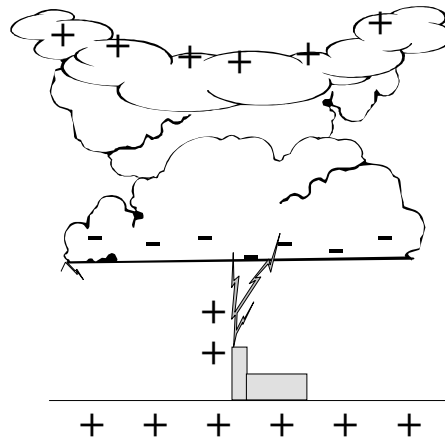
– *Le coup ascendant :*

Il est caractérisé par une arborescence ouverte vers le haut. Dans le cas de pylônes de grande hauteur ou de tours, l'effet couronne peut créer une décharge (partant donc du sol) qui va se développer suffisamment loin pour atteindre le nuage. Dès qu'un canal conducteur est créé, les charges accumulées dans le nuage vont s'écouler au sol. Le coup de foudre ascendant est très fréquent en zone de montagne.

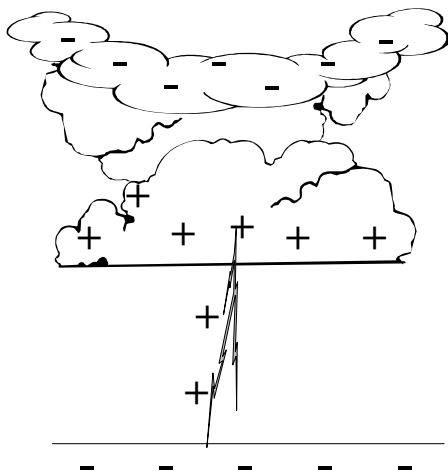
Les différents coups de foudre sont illustrés ci-dessous :



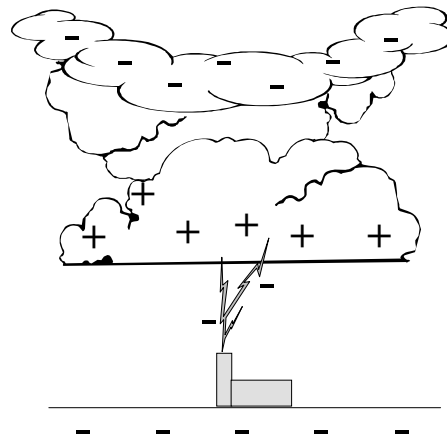
Traceur négatif descendant



Traceur positif ascendant issu d'une structure élevée



Traceur positif descendant



Traceur négatif ascendant issu d'une structure élevée

Comme précisé ci-avant, 90 % des coups de foudre en France sont de type négatif descendant. Les mécanismes particuliers de ce type de coups de foudre sont présentés schématiquement ci-dessous.

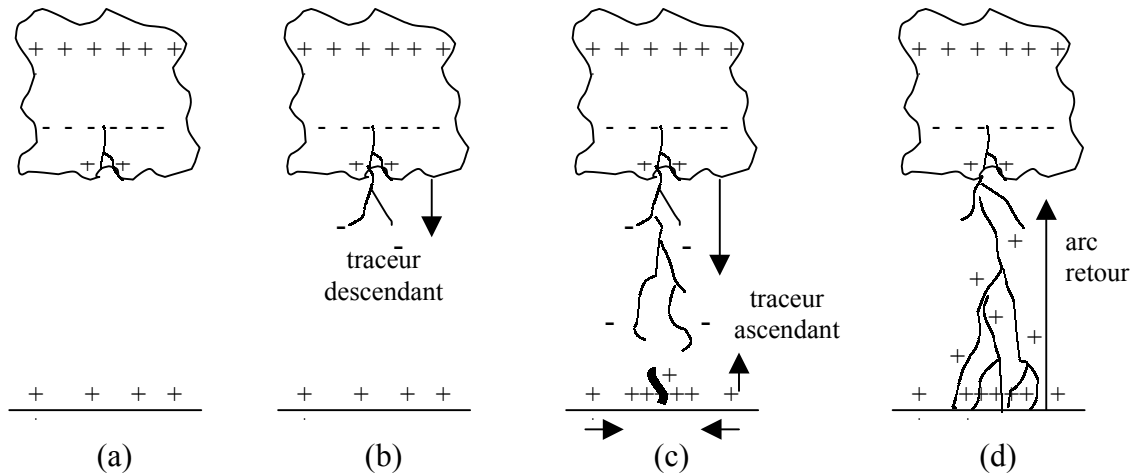


Figure 2 : Représentation schématique d'un coup de foudre négatif descendant

Le bas du cumulo-nimbus est chargé négativement, le sol positivement (a). Le coup de foudre est donc de type négatif. Un traceur chargé négativement se propage par bonds successifs du nuage vers le sol, déterminant le caractère descendant du coup de foudre (b). Lorsque ce traceur négatif approche du sol, le champ électrique est amplifié (les particules de charges opposées s'attirent) et un traceur positif apparaît, se dirigeant du sol vers le nuage (c). Lors de la rencontre de ces deux traceurs, un canal conducteur se crée entre le sol et le nuage, dont la différence de charge électrique est importante. Ce canal permet le passage d'un courant électrique de forte intensité : c'est l'arc retour ou coup de foudre (d).

Après le premier éclair ainsi généré, d'autres coups de foudre peuvent se produire utilisant le même canal conducteur jusqu'à la décharge complète du nuage. Signalons qu'une phase de courant persistant fait suite au premier arc de retour. Ce courant est souvent à l'origine des effets thermiques les plus importants.

4.1.4 POINTS D'IMPACT

La foudre peut tomber directement sur le sol, les structures ou les lignes. Dans tous ces cas les conséquences peuvent être néfastes du fait de la propagation par conducteur ou par rayonnement.

Le (ou les) point d'impact du coup de foudre ne semble se déterminer que dans la partie inférieure de la trajectoire (aux environs de 300 m d'altitude). De nombreux facteurs locaux peuvent avoir une action sur la localisation de l'impact. (Arbres, bâtiments, cheminées, nature du sol, cours d'eau, etc...).

4.2 CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES DES COUPS DE Foudre

4.2.1 INTENSITE DES DIFFERENTS COUPS DE Foudre

La distribution des intensités des courants de foudre est reportée sur un abaque regroupant toutes les données mondiales. Sont portées en abscisse le logarithme de l'intensité du coup de foudre (en kA), et en ordonnée la probabilité qu'a un coup de foudre de dépasser une intensité donnée. Les courbes ainsi obtenues représentent un faisceau de droites.

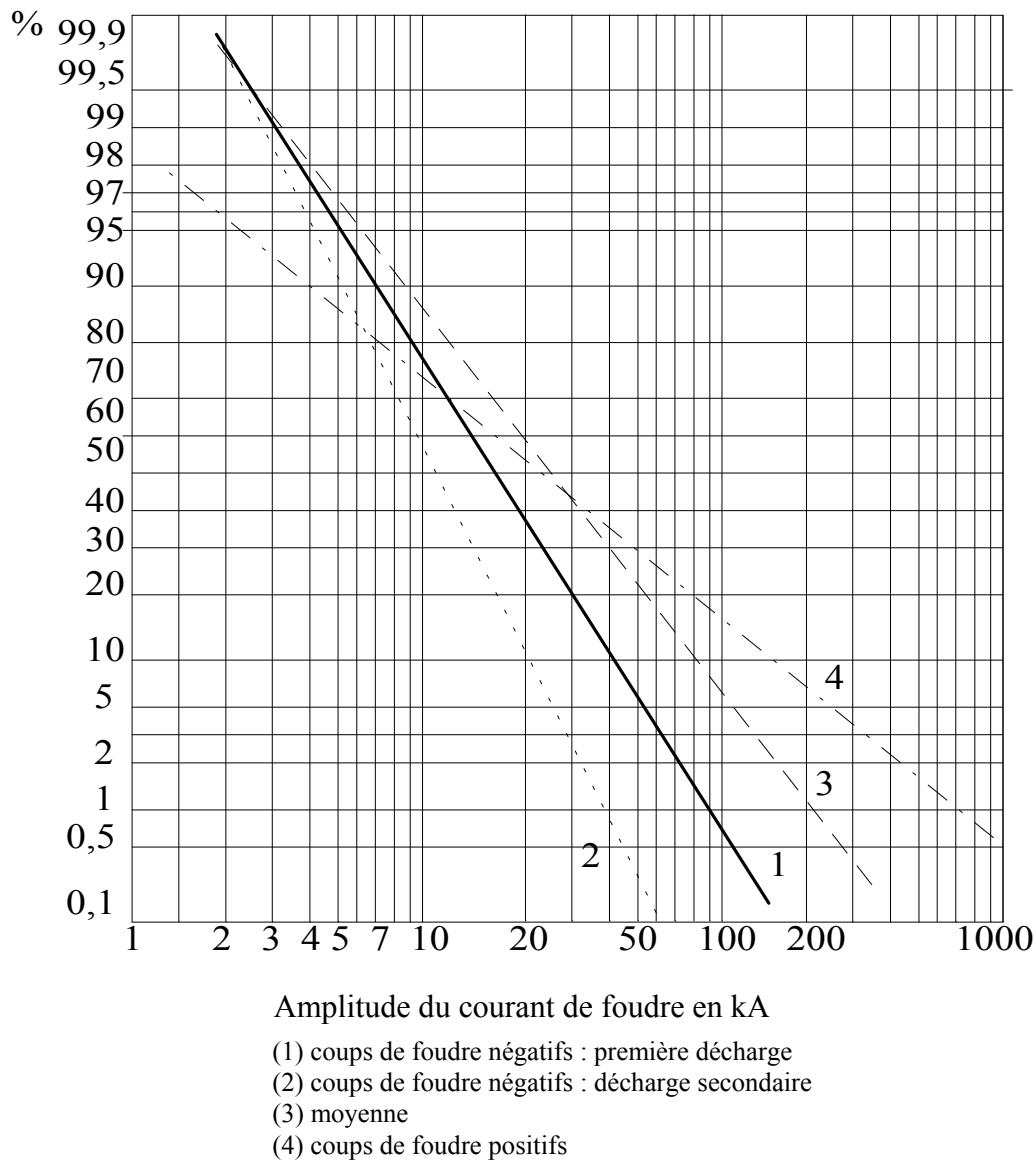


Figure 3 : Distribution statistique des coups de foudre

La lecture de la courbe (3) (moyenne) indique que l'intensité d'un coup de foudre négatif atteindra des valeurs supérieures à 2 kA dans 99,7 % des cas. La valeur moyenne de l'intensité se situe vers 25 kA.

4.2.2 CARACTERISTIQUES DES DIFFERENTS COUPS DE Foudre

Un coup de foudre est composé en général de plusieurs décharges partielles s'écoulant par le même canal ionisé.

Paramètres	Unité	Probabilité		
<i>Amplitude</i>		95%	50%	5%
premier coup	kA	7	33	85
coup subséquent		4,6	12	30
coup positif		4,6	35	250
<i>Raideur max.</i>		95%	50%	5%
premier coup	kA/μs	9,1	24	65
coup subséquent		10	40	162
coup positif		0,2	2,4	32
<i>Energie spécifique</i>		95%	50%	5%
premier coup	A ² s	6,0 10 ³	5,5 10 ⁴	5,5 10 ⁵
coup subséquent		5,5 10 ²	6,0 10 ³	5,2 10 ⁴
coup positif		2,5 10 ⁴	6,5 10 ⁵	1,5 10 ⁷
<i>Charge totale</i>		95%	50%	5%
décharge négative	C	1,3	7,5	40
décharge positive		20	80	350
<i>Durée totale</i>		95%	50%	5%
décharge négative	ms	0,15	13	1100
décharge positive		14	85	500

Tableau 1 : Paramètres d'un coup de foudre

Le Tableau 1 précédent montre notamment que :

- L'amplitude d'un coup subséquent est généralement plus faible que l'amplitude d'un premier coup de foudre négatif. Par ailleurs, l'amplitude d'un coup de foudre positif (on rappelle qu'un coup de foudre positif est unique) est généralement plus forte que celle d'un coup négatif même pour ce qui concerne le premier coup ;
- Si l'amplitude des coups subséquents associés aux coups de foudre négatifs est inférieure à celle du premier arc de retour, leurs temps de montée sont beaucoup plus rapides, comme le montrent les valeurs de raideur max. plus élevées. Les temps de montée d'un coup positif sont quant à eux significativement plus longs ;
- Tout comme l'amplitude, l'énergie spécifique d'un coup de foudre va en décroissant selon qu'il s'agit d'un coup positif, d'un premier arc de foudre négatif, d'un coup subséquent ;
- La charge totale associée à une décharge négative est généralement plus faible que celle associée à une décharge positive ;
- La durée totale d'un coup de foudre positif est souvent plus importante que celle d'un coup de foudre négatif.

4.3 EFFETS DE LA Foudre SUR DES INSTALLATIONS

La foudre est un courant électrique haute fréquence qui entraîne les mêmes effets que tout autre courant circulant dans un conducteur électrique notamment :

- effets thermiques (effet Joule),
- effets dus aux amorçages (montées en potentiel des prises de terre et tensions dangereuses dues à l'impédance élevée des conducteurs en haute fréquence),
- effets électromagnétiques,
- effets électrodynamiques,
- effets électrochimiques,
- effets acoustiques (tonnerre),
- effets lumineux.

Relativement aux termes utilisés dans les paragraphes suivants, le lecteur est invité à se référer au chapitre 3, présentant des extraits du glossaire réalisé par l'Association Protection Foudre.

4.3.1 EFFETS THERMIQUES

Les effets thermiques associés au phénomène de foudre peuvent être de plusieurs sortes :

- De manière générale, un courant électrique s'écoulant dans un corps conducteur entraîne son échauffement. Ce phénomène, qualifié d'effet Joule, peut être à l'origine, dans le cas de la foudre, de la fusion des conducteurs dont le volume n'est pas suffisant pour évacuer la quantité de chaleur générée par les courants de foudre,
- Lors de coups de foudre, un contact de mauvaise qualité entre deux conducteurs peut être le siège d'un échauffement important conduisant à la fusion des pièces en contact. Cette fusion pouvant s'accompagner également de la formation d'un arc de retour et de projection de métal porté à haute température, peut constituer un facteur incendiaire important.
- Dans les cas particuliers où les courants de foudre s'écoulent dans un mauvais conducteur (bois béton), l'échauffement généré est susceptible d'entraîner une vaporisation de l'eau contenue dans le matériau et en conséquence, l'éclatement de ce dernier.
- Aux points de jonction entre un conducteur (surface métallique) et un arc de retour, une grande quantité de charges électriques doit être écoulee dans un temps très bref. Ce phénomène entraîne un échauffement local important du métal, qui, s'il s'avère généralement sans conséquences graves, peut conduire à la perforation de tôle d'acier de 2 à 3 mm d'épaisseur,
- Enfin, lorsque l'arc de retour traverse des substances inflammables, il est capable de déclencher un incendie directement par conduction de la chaleur ou par simple rayonnement thermique.

4.3.2 MONTEES EN POTENTIEL ET AMORÇAGES

L'amorçage (l'étincelage) se produit lorsque la tension électrique entre deux points dépasse un seuil qui dépend du milieu isolant et de l'éloignement entre ces deux points. Ce phénomène transitoire se produit dans l'air lorsque le champ électrique est de l'ordre de 30 kV/cm.

Ces différences de potentiel peuvent ainsi occasionner :

- des destructions d'équipements électriques ou électroniques,
- des claquages (étincelles) entre les descentes de paratonnerre et des objets métalliques proches reliés au sol, créant ainsi un risque important d'inflammation.

4.3.3 EFFETS ELECTROMAGNETIQUES

Le canal de foudre ainsi que les éléments écoulant le courant de foudre à la terre génèrent un champ électromagnétique. Des courants et tensions induits vont alors apparaître dans les conducteurs proches. A titre d'illustration, signalons qu'à 100 m du point d'impact, un éclair peut induire une tension de 80 V dans une boucle d'un mètre carré formée par un conducteur.

Les différences de potentiels en résultant peuvent à leur tour entraîner des claquages dans les éléments électriques ou électroniques reliés à ces conducteurs. Ces claquages peuvent être également de forte intensité et créer un risque d'inflammation ou de destruction du même type que celui créé par le coup direct.

Par ailleurs, certains équipements sensibles aux perturbations électromagnétiques peuvent être perturbés ou détruits par le champ créé par un éclair proche.

Les surtensions induites par un champ électromagnétique sont généralement de courte durée et leur amplitude dépend notamment de la vitesse de variation du courant induit dans le composant considéré. Cette vitesse de variation est à relier à la raideur du coup de foudre et donc au profil de l'onde magnétique générée.

Ainsi, les temps de montée, de valeur de crête et le temps de descente ont chacun des effets destructeurs ou perturbateurs :

- le temps de montée : certains composants discrets (triacs, thyristors par exemple) sont déclenchés ou détruits par des impulsions de bas niveau, mais à front très raide (dU/dt et dI/dt importants) ;
- la valeur de crête : les surtensions de crête supérieures à la valeur admissible de certains éléments entraînent leur destruction par claquage ; c'est le cas pour les condensateurs, les diodes et en général les couches d'arrêt des semi-conducteurs ;
- le temps de descente : les impulsions de longue durée endommagent la plupart des composants du fait de l'énergie qu'elles véhiculent.

Sans aller jusqu'à la destruction d'un composant ou d'un circuit, les perturbations du réseau peuvent aussi entraîner des erreurs de fonctionnement d'équipements électroniques par suite de l'action d'une impulsion, même faible, sur un microprocesseur, une mémoire ou une logique câblée (basculer,...). Les effets seront par exemple :

- l'arrêt ou le démarrage incontrôlé d'une machine automatique,
- le fonctionnement erratique d'équipements,
- la perturbation de programmes informatiques,
- le déclenchement intempestif d'une centrale d'alarme,
- des erreurs d'affichage ou de calcul (mesures,...).

Il est clair que la perturbation d'organes électriques jouant un rôle particulièrement important pour la sécurité de l'installation peut être une cause d'accidents majeurs. L'analyse d'accidents menée dans le chapitre 2 a d'ailleurs mis en lumière que les accidents de ce type n'étaient pas à exclure.

Enfin, l'action cumulée et répétée de surtensions ou de surintensités successives non destructives individuellement peut conduire à un vieillissement prématuré de certains composants électriques.

Relativement aux effets électromagnétiques de la foudre, il convient notamment de retenir que :

- la foudre peut avoir des conséquences destructrices ou perturbatrices sur des installations électriques ou électroniques situées dans un rayon de plusieurs kilomètres à partir du point d'impact,
- une alimentation électrique d'un bâtiment réalisée par câbles souterrains n'en est pas pour autant protégée des effets de la foudre et les équipements électriques ou électroniques branchés dans ce bâtiment ne sont pas à l'abri des conséquences de ce phénomène électrique.

4.3.4 EFFETS ELECTRODYNAMIQUES

Des effets électrodynamiques peuvent être générés dès lors qu'un courant fort circule dans un conducteur se trouvant par ailleurs dans un champ magnétique généré par des courants voisins. Par analogie, on peut se référer aux phénomènes apparaissant sur des jeux de barres de poste de puissance en cas de court-circuit.

Ces effets peuvent être soit attractifs, soit répulsifs suivant la disposition des conducteurs les uns par rapport aux autres. Ces efforts peuvent atteindre de plusieurs centaines à plusieurs milliers de newtons pour des coups de foudre violents et conduisent à des déformations mécaniques pouvant entraîner des ruptures ou des arrachages de support.

4.3.5 EFFETS ELECTROCHIMIQUES

Ces effets sont généralement négligeables sur les installations au sol, les quantités de matière pouvant se décomposer par électrolyse restant faibles, même pour des quantités de charge transférées importantes. Une surveillance des prises de terre reste cependant nécessaire (risque de corrosion,...).

4.3.6 EFFETS ACOUSTIQUES

Les forces électrodynamiques liées au courant s'écoulant dans l'éclair créent une dilatation de l'air du canal de foudre, accompagnée d'une élévation de pression dans le canal.

Cette surpression et sa disparition brutale, créent une onde de choc se propageant ensuite dans l'atmosphère. Cette onde de choc peut générer de fortes surpressions sur des structures avoisinantes et conduire au renversement de panneaux, murs,...

4.3.7 EFFETS LUMINEUX

Les effets sur les installations sont limités aux équipements optiques (cellules, caméra,...). En ce qui concerne l'homme, des lésions oculaires peuvent toutefois apparaître.

4.4 ACCIDENTS CORPORELS DUS A LA Foudre

L'objet de ce document est de présenter le risque foudre relativement aux Installations Classées pour la Protection de l'Environnement. Cependant, il paraît instructif de simplement citer les risques pour l'homme associés au phénomène de foudre, à titre indicatif, d'une part, et pour la protection éventuelle des opérateurs sur site d'autre part.

Les accidents corporels dus à la foudre ne sont pas très fréquents, mais leurs conséquences, souvent très graves, doivent être connues, ainsi que les règles élémentaires à respecter pour se protéger.

4.4.1 DIFFERENTS TYPES DE Foudroiement

En ce qui concerne l'atteinte d'une personne par un coup de foudre, il convient de distinguer :

- *Le coup de foudre "direct"* : le courant de foudre "entre" par la partie supérieure d'une personne et s'écoule au sol en passant par les membres inférieurs ;
- *Le foudroiement par éclair "latéral"* : le courant de foudre "descend" par un élément faiblement conducteur avant de choisir un chemin de moindre résistance qui peut être une personne se situant à proximité ;
- *Le foudroiement par "tension de pas"* : lorsque la foudre frappe un point au sol, on a alors une différence de potentiel suffisante pour générer un courant passant par les membres inférieurs d'un individu ;
- *Le foudroiement par "tension de toucher"* : la tension de toucher intervient comme mécanisme de foudroiement lorsqu'une personne touche un objet conducteur lui-même parcouru par un courant de foudre ;
- *Le foudroiement par "courant induit"* : foudroiement par captage capacitif d'une des ramifications d'un coup de foudre descendant ;
- *Le foudroiement par "différence d'impédance"*, avec le milieu ambiant. Par exemple une personne dans une piscine présente une impédance de plus faible valeur que le milieu ambiant et sera ainsi parcourue par un courant plus fort.

4.4.2 LES PATHOLOGIES DE LA Foudre

Le risque majeur des foudroiements est l'arrêt cardio-respiratoire. Comme dans le cas des électrisations par courant de fréquence industrielle, seule la réanimation cardiaque et respiratoire immédiate peut sauver la victime.

Cependant, le diagnostic de foudroiement peut poser des difficultés, la pathologie de la foudre n'étant pas toujours bien identifiée. Une erreur de diagnostic peut avoir de lourdes conséquences, le foudroiement s'accompagnant généralement de complications lourdes. Dans tous les cas, un examen approfondi par un spécialiste s'impose.

Les types de lésions générées par la foudre sont multiples :

- lésions neurologiques,
- lésions cardio-vasculaires,
- brûlures des tissus et des chairs,
- lésions traumatiques, auditives ou oculaires

4.4.3 RECOMMANDATIONS EN CAS D'ORAGE POUR LA PROTECTION DES PERSONNES

Pour se protéger de la foudre, il convient de respecter les principes suivants :

- ne pas constituer une cible pour la foudre,
- ne pas se placer dans des situations qui risquent d'engendrer une différence de potentiel entre deux parties du corps.

Les personnes voulant se protéger peuvent notamment prendre les précautions suivantes :

- chercher un abri bas dans un endroit ayant un toit relié électriquement à la terre ou un abri métallique (voiture,...),
- lorsqu'il n'y a pas d'abri à proximité, il faut à la fois réduire sa hauteur (s'accroupir) et réduire sa surface au sol (joindre les deux pieds),
- éviter de courir, de s'allonger et de faire de grands pas,
- éviter les abris naturels (grottes, bas de falaise, cascade,...),
- éviter de faire de la bicyclette, de monter à cheval, de rester dans un véhicule à toit ouvert,
- éviter de marcher dans l'eau ou de nager,
- se tenir à l'écart des endroits élevés, des arbres de grande taille ou isolés. Si la proximité d'un arbre ne peut être évitée, prendre position au-delà de la limite du feuillage,
- éviter le contact ou la proximité des structures métalliques et descentes de paratonnerres,
- ne pas porter sur soi des objets métalliques,
- éviter ou limiter l'utilisation du téléphone (traditionnel),

- éviter le contact avec tout objet métallique, appareils électriques, encadrement de fenêtre, radio, télévision.

5 ETUDE GÉNÉRIQUE POUR LA PROTECTION CONTRE LA Foudre

Ce chapitre présente dans un premier temps le contexte réglementaire et normatif dans lequel s'inscrit une étude préalable de protection foudre et, dans un deuxième temps la démarche adoptée par l'INERIS pour la réalisation de telles études.

5.1 RAPPEL DU CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE ET NORMATIF

Les premiers paratonnerres ont été mis en place au 18^{ième} siècle. Sans que l'on comprenne réellement comment, le dispositif permettait le plus souvent de protéger assez efficacement l'édifice sur lequel il était installé. La population ne savait pas si le paratonnerre repoussait ou attirait la foudre. Les paratonnerres ayant montré une certaine efficacité, avant que n'apparaissent les normes, ces dispositifs deviennent obligatoires sur certaines installations. C'est ainsi que la protection contre la foudre fut introduite dans les textes réglementaires français, il y a moins d'un demi-siècle.

Des textes réglementaires français ont été rédigés pour garantir une protection minimale de la population, des biens et de l'environnement. Une partie de ces textes comprend un volet qui traite de la protection contre la foudre. Les principaux décrets et arrêtés relatifs à la foudre sont présentés ci-dessous.

La protection des édifices religieux a été la première obligation réglementaire. Compte tenu des connaissances du phénomène à l'époque et des dispositifs de protections disponibles pour se protéger, l'arrêté du 16 septembre 1959 impose la mise en place d'un paratonnerre sur les édifices religieux.

Les installations les plus frappées par la foudre sont généralement les structures les plus hautes. Aussi, la protection des Immeubles de Grande Hauteur (IGH) a été imposée en 1967. Là encore, la mise en place d'un paratonnerre est clairement indiquée dans le décret 67-1063.

En 1977, la réglementation des IGH est modifiée et l'obligation d'installer des paratonnerres se transforme en obligation de protection contre la foudre. Cette évolution du texte peut paraître mineure, mais la contrainte est plus forte.

La simple présence d'un paratonnerre sur un toit pourrait ne pas suffire pour assurer la protection de l'immeuble et de son contenu. En absence de norme d'installation, le décret 79-846 précise, pour les établissements pyrotechniques, les règles de pose des conducteurs de descente des paratonnerres, et la configuration des prises de terre. Les règles techniques concernant certaines installations d'élevage de volailles imposent un paratonnerre ou un dispositif antifoudre sur les gazomètres. La définition du terme *dispositif antifoudre* est ambiguë, car elle ne correspond pas à des matériels bien identifiés.

5.1.1 ARRETE DU 28 JANVIER 1993 - CIRCULAIRES D'APPLICATION

C'est à la suite d'un accident, dont l'origine est due à la foudre, qu'a été rédigé un arrêté qui traite exclusivement de la protection contre la foudre. Cet arrêté du 28 janvier 1993 concerne la majorité des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) soumises à autorisation préfectorale. Il figure en Annexe 2 du présent document.

Ce texte réglementaire demande ainsi la conformité des installations visées à la norme NF C-17-100 ou toute autre norme équivalente en terme de sécurité et précise les grands principes quant aux dispositifs de protection. L'arrêté du 28 janvier 1993 est accompagnée de la circulaire n°93-17 qui définit les conditions d'application de l'arrêté, rappelle la nécessité d'une étude préalable foudre, complète et précise les préconisations présentées notamment dans la norme NF C-17-100. Cette circulaire figure en Annexe 3 de ce document.

La circulaire du 28 janvier 1993 est modifiée par la circulaire du 28 octobre 1996, concernant également l'application de l'arrêté du 28 janvier 1993. Ce texte, figurant en Annexe 4 de ce document, donne entre autres le déroulement d'une étude préalable pour le risque foudre et définit son contenu.

5.1.2 NORMES

L'évolution des activités professionnelles et privées s'est accompagnée d'un besoin croissant d'équipements électriques et électroniques. Nous sommes de plus en plus dépendants de la fiabilité et de la disponibilité de ces équipements. Pour comprendre et limiter les effets de la foudre sur ces équipements, des recherches ont été menées. Cela a conduit ces vingt dernières années à une meilleure connaissance du phénomène et a permis de développer des systèmes de protection de plus en plus efficaces. Des normes ont alors été établies : la plus connue en France est la norme NF C17-100 dont la première version date de 1987.

Le retour d'expérience issu de l'étude des accidents liés à la foudre fait progresser les connaissances en matière de prévention et de protection. Les règles de fabrication de produits et d'installations d'équipements sont établies dans les normes pour garantir un minimum de qualité et de sécurité. Il est parfois nécessaire que l'Etat intervienne pour imposer des règles et en particulier l'utilisation de certaines normes lorsque leur application permet d'atteindre le but recherché.

Les normes applicables sont notamment définies dans l'Annexe C de la circulaire du 28 octobre 1996 relative à l'application de l'arrêté du 28 janvier 1993. Le lecteur pourra ainsi se référer à la dite circulaire figurant en annexe 3 de ce document.

5.2 PLAN TYPE PROPOSE PAR L'INERIS

La plupart du temps, l'étude de protection contre la foudre concerne les Installations Classées pour la protection de l'Environnement (ICPE). En effet, sauf cas particuliers, une ICPE soumise à autorisation préfectorale relève de l'arrêté du 28 janvier 1993 et doit à ce titre faire l'objet d'une étude préalable de protection foudre.

A la lumière des exigences réglementaires citées au paragraphe 5.1 précédent et plus particulièrement du schéma type d'une étude de risques foudres présentée en Annexe B de la circulaire du 28 octobre 1996, l'INERIS propose le plan type suivant pour la réalisation d'une étude préalable de protection foudre.

- I. Introduction
- II. Description des installations
- III. Evaluation des protections nécessaires
- IV. Evaluation des protections existantes
- V. Préconisations de protection
- VI. Conclusion

Le contenu de chacun de ces chapitres-clé sera précisé dans les paragraphes à venir.

Il convient de rappeler que l'objet de ce chapitre est de présenter la démarche utilisée par l'INERIS en vue de rédiger une étude de protection foudre. Aussi, les propositions présentées ici ne sauraient préjuger de la validité d'études menées selon des canevas différents. De manière générale, l'appréciation d'une telle étude peut être effectuée en vérifiant les quatre points principaux suivants :

- Les installations prises en compte dans l'étude doivent être clairement identifiées,
- Une analyse des risques doit être réalisée. Les résultats de l'étude de dangers le cas échéant doivent être pris en compte et l'étude foudre doit y faire référence,
- L'étude ne doit pas se limiter aux seuls effets directs mais doit également prendre en compte les effets indirects de la foudre,
- Les préconisations faites dans l'étude, relativement aux procédures ou aux installations de matériel à mettre en place doivent être clairement indiquées pour chaque installation.

Ces points minimums conditionnent en grande partie la recevabilité d'une étude foudre.

A contrario, les principaux défauts pouvant conduire à une étude jugée insatisfaisante peuvent être résumés comme suit :

- Les installations prises en compte dans l'étude ne sont pas clairement identifiées,
- L'analyse de risques menée dans l'étude foudre se limite au calcul du niveau de protection selon l'annexe B de la norme NF C 17-100. L'étude de dangers met parfois en évidence des dangers particuliers à l'intérieur de structures de très petite taille pour lesquelles l'application de la dite norme peut se révéler peu pertinente,
- Les recommandations de l'étude foudre restent très générales ou plusieurs solutions sont envisagées sans qu'une évaluation de leur efficacité respective soit présentée.

5.3 PRESENTATION DU CONTENU DES PRINCIPAUX CHAPITRES D'UNE ETUDE Foudre

L'objet des paragraphes à venir est de présenter la démarche générale retenue par l'INERIS pour la réalisation d'une étude de protection foudre.

5.3.1 CHAPITRE I : INTRODUCTION

L'introduction indique le contexte dans lequel est réalisée l'étude de protection foudre ainsi que les objectifs à atteindre. Elle précise entre autres si l'installation est une ICPE soumise à déclaration ou à autorisation, la date de la visite des installations et les personnes ayant participé à son élaboration (rédacteur, vérificateur, approbateur...).

5.3.2 CHAPITRE II : DESCRIPTION DES INSTALLATIONS

La partie descriptive des installations a pour objectifs :

- d'identifier les installations prises en compte dans l'étude,
- de fournir les données qui servent aux calculs de l'efficacité des protections nécessaires à chaque installation (longueur, largeur, hauteur, densité de foudroiement local, type de structure, environnement immédiat, contenu),
- de préciser les zones à risque (incendie, explosion, les procédés à risques),
- d'indiquer les équipements dont la défaillance entraîne :
 - une interruption partielle des activités,
 - l'arrêt total des activités,
 - une condition aggravante à un risque d'accident,
 - une cause d'accident.

Il est ainsi possible de retenir par exemple le découpage suivant pour chaque partie des installations :

- 1) Description de la structure (dimensions, matériaux employés, situation,...)
- 2) Description des activités (volume et nature des produits stockés ou utilisés, nature du process,...)
- 3) Identification des Risques sur la base des informations contenues dans l'étude de dangers ou suite à une analyse spécifique à l'étude foudre. Outre les scénarios d'accident à envisager, cette sous-partie doit notamment faire apparaître les risques de perturbation des équipements électriques dus à la foudre.

De manière générale, cette description peut intégrer le contenu de l'étude de dangers concernant le site étudié, qui présente elle-même une description des installations et les scénarios d'accident qu'il convient de retenir relativement aux différentes parties des installations du site.

Cette étape descriptive est déterminante pour la suite de l'analyse dans la mesure où elle définit les principales hypothèses et données d'entrée permettant d'évaluer les niveaux de protection nécessaire et existant du site étudié. Il s'agit d'un travail souvent long et en conséquence, il est généralement pertinent de s'assurer de la collaboration du responsable du site industriel pour tendre vers plus d'efficacité. Cette collaboration peut passer par une phase de travail préparatoire où il est demandé à l'Industriel de fournir les éléments d'information suivants :

- description des installations,
- liste des zones à risques : classement de zone explosible, incendie, perte de contrôle de process,
- scénarios d'accident retenus dans l'étude des dangers,
- moyens de protection et de prévention déjà mis en place,
- plans (de masse, en élévation, de réseau d'eau, de gaz, d'électricité, du réseau des mises à la terre).

En définitive, la description des installations, intégrant une analyse des risques, permet de définir les objectifs de protection devant être envisagés pour les scénarios d'accident ayant pour cause la foudre et qui conduisent à un événement redouté. Ce dernier peut s'exprimer par exemple en terme de :

- incendie,
- explosion,
- perte de confinement de substances toxiques ou polluantes,
- perte de contrôle de process due à une perturbation électrique,
- défaillance d'alarme,...

5.3.3 CHAPITRE III : EVALUATION DES PROTECTIONS NECESSAIRES

Pour garantir l'intégrité des installations, l'analyse des effets de la foudre doit prendre en compte les effets directs et indirects. L'arrêté du 28 janvier 1993 préconise l'utilisation de la norme NF C 17-100 (ou toute norme équivalente) pour évaluer la pertinence d'un système de protection foudre. L'utilisation exclusive de cette norme est toutefois insuffisante lors d'une étude préalable de protection foudre. En effet, les effets indirects (en particulier les perturbations conduites sur les lignes électriques) ne font pas l'objet de la norme NF C 17-100 : "Protection des structures contre la foudre - installation de paratonnerres".

L'analyse des effets de la foudre, qui est la seconde étape de l'étude préalable peut être réalisée en utilisant le rapport CEI 1662 "Evaluation des risques de dommages liés à la foudre". Ce document prend en compte à la fois les effets directs et indirects de la foudre comme le demande le premier article de l'arrêté du 28 janvier 1993.

La protection des lignes électriques se révèle souvent plus pertinente qu'une protection par paratonnerre. Pour évaluer l'utilité de parafoudres sur une installation résidentielle, commerciale ou industrielle, il existe un guide réalisé par l'UTE. Comme pour la norme NF C 17-100, ce guide UTE 15-443 est conçu pour la majorité des installations et non spécifiquement pour les installations à risques. La prise en compte des conséquences sur l'environnement n'est pas, ou partiellement traitée. C'est la raison pour laquelle l'étude préalable de protection foudre ne doit pas se limiter à appliquer uniquement la norme NF C 17-100.

Selon les objectifs fixés, différentes méthodes sont utilisées, le plus souvent :

- *L'évaluation des risques de dommage se fait en utilisant le rapport CEI 1662 (en complément à l'étude des dangers) ;*
- *L'évaluation de l'efficacité des protections nécessaires contre les effets directs se fait en utilisant la norme NF C 17-100 ;*
- *L'utilité de protection par parafoudre se fait en utilisant le guide UTE 15-443 (en ajoutant un paramètre qui prend en compte les effets sur l'environnement).*

L'analyse du risque lié à la foudre sur les installations est faite en se basant sur l'étude des dangers, parmi les activités, processus et éléments à risques déclarés pour lesquels une agression foudre et les effets qui s'en suivent peuvent devenir des facteurs déclenchant.

La description des risques liés à la foudre tient compte de l'environnement extérieur des bâtiments et des différentes interactions :

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

5.3.3.1 DETERMINATION DU BESOIN DE PROTECTION CONTRE LES EFFETS DIRECTS

L'évaluation probabiliste du risque ne présente pas un caractère d'obligation dans l'application de l'arrêté. Toutefois, les résultats permettent une classification des risques de l'installation. Elle permet donc de définir des priorités dans le choix des protections et de vérifier la pertinence d'un système de protection.

Les normes de la CEI et la norme NF C 17 100 permettent l'utilisation de composants "naturels" comme les infrastructures métalliques de l'installation si leurs natures et leurs dimensions sont conformes aux prescriptions de ces normes.

Les dispositifs de protections externes sont :

- le paratonnerre à tige simple,
- le Paratonnerre à Dispositif d'Amorçage (PDA),
- les fils tendus,
- la cage maillée.

L'évaluation du risque de foudroiement des différentes constructions d'un site est calculée selon les prescriptions de la norme NF C 17-100. L'évaluation du risque de foudroiement sur une structure est réalisée en trois étapes :

1. calcul de la surface équivalente de captation de la foudre,
2. calcul de la fréquence attendue de coups de foudre directs sur la structure,
3. calcul de la fréquence acceptée de coups de foudre directs sur la structure.

5.3.3.1.1 Calcul de la surface équivalente de captation d'un bâtiment

La surface équivalente de captation de la foudre d'une structure, S_I , est calculée avec la formule extraite de la norme NF C 17-100 :

$$S_I = L.l + 6h_l.(L+l) + 9.\pi.h_l^2 \quad (1)$$

avec L : longueur de la structure

l : largeur de la structure

h_l : hauteur de la structure

La surface équivalente d'une structure est donc toujours plus grande que sa superficie au sol comme le montre l'exemple ci-dessous :

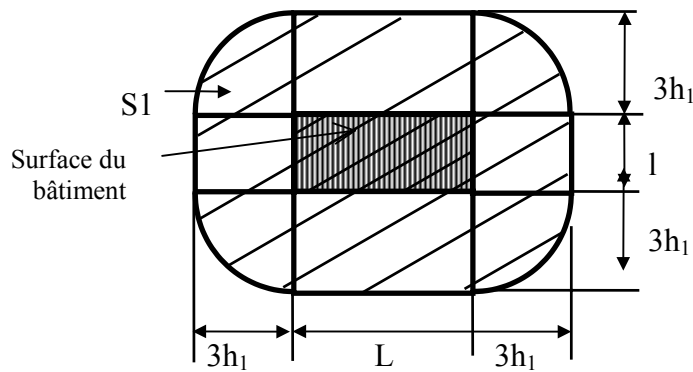


Figure 4 : Surface de captation d'une structure

Il arrive que deux structures soient suffisamment proches pour que leurs surfaces équivalentes se superposent. Dans ce cas, il faut réduire les valeurs de surface calculées. En effet, la foudre ne tombe pas au même instant sur deux structures voisines.

Lorsqu'une structure comporte une cheminée suffisamment haute, il convient de déterminer une surface de captation, S_2 , en fonction de la hauteur de cette cheminée grâce à la formule suivante :

$$S_2 = 9.\pi.h_2^2 \quad (2)$$

avec h_2 : hauteur de la cheminée.

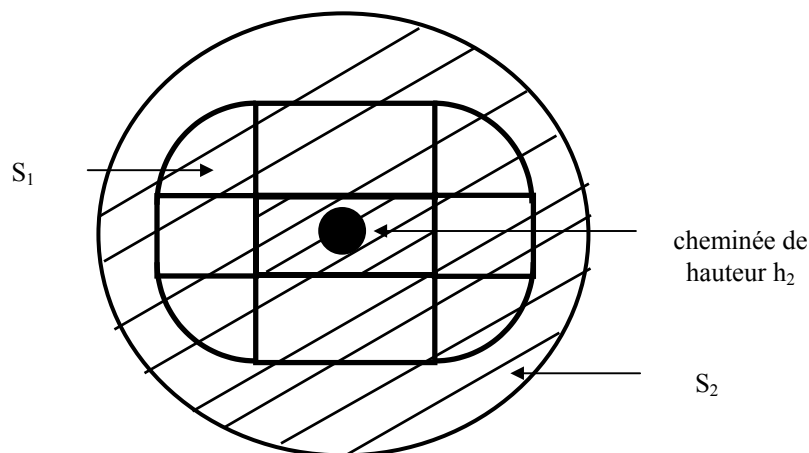


Figure 5 : Surface de captation d'une structure munie d'une cheminée

La surface de capture équivalente A_e de la structure correspond dans ce cas au maximum des surfaces S_1 et S_2 .

$$A_e = \text{Max} (S_1 ; S_2) \quad (3)$$

5.3.3.1.2 Calcul de la fréquence attendue de coups de foudre directs sur une structure

Le calcul de la fréquence attendue de coups de foudre directs sur une structure s'effectue à partir des données suivantes :

- la surface de captation de la structure. De manière claire, plus cette dernière est grande, plus la fréquence de coups de foudre est importante,
- la densité de foudre local,
- l'environnement proche autour de la structure considérée.

La densité de foudre locale peut être obtenue notamment en consultant la base de données de METEORAGE. La moyenne nationale de densité de foudre est de 1,2.

L'environnement autour de la structure étudiée influe bien entendu sur la fréquence attendue de coups de foudre directs sur cette structure. Ainsi, une structure isolée située au sommet d'une colline ou d'un relief est plus exposée au foudroiement que la même structure entourée d'arbres ou de structures de hauteur équivalente ou supérieure. Cette influence de l'environnement proche est pris en compte grâce au coefficient C_1 , défini dans le tableau ci-dessous.

C1	Environnement
0,25	Structure située dans un espace où il y a des structures ou des arbres de même hauteur ou plus élevés
0,5	Structure entourée de plus petites structures
1	Structure isolée : pas d'autres structures à au moins une distance de $3 h_1$
2	Structure au sommet d'une colline ou sur un promontoire

Tableau 2 : Détermination du coefficient d'environnement C1

En définitive, la fréquence attendue de coups de foudre directs sur une structure est donnée par la formule suivante :

$$Nd = 2.Ng.C_1. A_e.10^{-6} \quad (4)$$

Avec Ng : densité de foudroiement locale (en impact/an/ km²)

A_e : surface équivalente de captation (en m²)

C_1 : coefficient d'environnement

5.3.3.1.3 *Précisions concernant la surface équivalente de capture des bâtiments*

Lorsqu'un bâtiment est relativement proche d'une autre structure, la surface équivalente de capture à considérer est inférieure à celle calculée avec la formule page 39.

Le coefficient C_1 utilisé dans la norme NF C 17-100 permet de prendre en compte l'environnement proche du bâtiment pour lequel le calcul est réalisé. Ce coefficient est très pratique car il évite de réaliser des représentations graphiques. Le coefficient C_1 de la norme NF C 17-100 donne des résultats sensiblement identiques à la méthode graphique proposée dans la norme CEI 1024-1-1 (1993).

5.3.3.1.4 *Calcul de la fréquence acceptée de coups de foudre directs sur une structure*

La fréquence acceptée de coups de foudre directs sur une structure, notée N_c , est calculée à partir de quatre paramètres définis dans le Tableau 3 suivant, extrait de la norme NF C 17-100. Ces paramètres C_2 , C_3 , C_4 , C_5 , visent à évaluer de manière forfaitaire la gravité des dommages associés à un coup de foudre direct.

C₂ coefficient structurel			
Toiture \ Structure	Métal	Commune	Inflammable
Métal	0,5	1	2
Courant	1	1	2,5
Inflammable	2	2,5	3
C₃ contenu de la structure			
Sans valeur inflammable		0,5	
Valeur courante ou normalement inflammable		1	
Forte valeur ou particulièrement inflammable		2	
Valeur exceptionnelle, irremplaçable ou très inflammable, explosive		3	
C₄ occupation de la structure			
Inoccupée		0,5	
Normalement occupée		1	
Evacuation difficile ou risque de panique		3	
C₅ conséquences d'un foudroiement			
Pas de nécessité de continuité de service, et aucune conséquence sur l'environnement		1	
Nécessité de continuité de service et aucune conséquence sur l'environnement		5	
Conséquence sur l'environnement		10	

Tableau 3 : Détermination des coefficients liés à la structure et à son utilisation

La fréquence acceptée de coups de foudre, N_c , est ainsi obtenue grâce à la formule suivante :

$$N_c = 0,0055 / (C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5) \quad (5)$$

De manière simple, plus les coefficients C_i sont élevés, plus la fréquence acceptée est faible, et meilleure doit être la protection.

5.3.3.1.5 Détermination de l'efficacité de la protection et du niveau de protection associés

Lorsque la fréquence acceptée N_c est supérieure à la fréquence attendue N_d , l'efficacité de la protection intrinsèque de la structure est jugée suffisante. Aucune protection complémentaire n'est alors nécessaire pour protéger la structure des coups de foudre directs selon la norme NF C 17-100.

Lorsque la fréquence N_c est inférieure à N_d , la structure requiert une protection d'efficacité E , déterminée comme suit :

$$E = 1 - (N_c/N_d) \quad (6)$$

A partir de l'efficacité calculée, il est possible de déterminer un niveau de protection, correspondant à la protection de la structure vis-à-vis de l'intensité des courants de foudre, comme indiqué dans le tableau ci-dessous. Le niveau I est le plus sévère : il permet de protéger une structure pour des courants de foudre compris entre 2,8 kA et 200 kA avec une efficacité supérieure à 0,98.

Pour les bâtiments, la norme NF C 17-100 propose une protection par niveau :

Niveaux de protection	Efficacité des installations de protection	Courant crête
I + mesures complémentaires	$E > 0,98$	
I	$0,95 < E \leq 0,98$	2,8 kA à 200 kA
II	$0,90 < E \leq 0,95$	5,2 kA à 150 kA
III	$0,80 < E \leq 0,90$	9,5 kA à 100 kA
IV	$0 < E \leq 0,80$	14,7 kA à 100 kA

Tableau 4 : Niveaux de protection (Norme NF C-17-100)

En pratique, l'application de la méthode de la norme NF C 17-100 à un palettier ou à un réservoir conduit la plupart du temps à considérer la protection comme optionnelle. En effet, il n'est pas rare que, pour une petite structure, le calcul donne une probabilité de foudroiement de la structure statistiquement tous les 2 000 ans. Dans ce cas, même en prenant en compte les conséquences sur l'environnement ($C_5=10$), la protection de la structure est optionnelle.

Ce constat montre les limites de la norme NF C 17-100, notamment dans le cas de structures de taille restreinte. Il est donc nécessaire de protéger une structure dès lors que les dégâts ou les conséquences sur l'environnement occasionnés par un coup de foudre direct seraient importants. Par ailleurs, l'intérêt de la mise en place d'un système de protection peut se justifier par des considérations purement économiques. Comme l'indique le rapport CEI 1662 de 1995 : "Si les dommages n'impliquent aucun élément humain, culturel et relatif à l'environnement, la décision de mettre ou non en œuvre des mesures de protection peut être prise par le concepteur sur la base d'éléments strictement économiques, en comparant le coût annuel des mesures de protection au montant probable du coût annuel prévisible des pertes liées à la foudre."

En pratique, quelques règles de protections systématiques viennent compléter les outils d'évaluation proposés par les normes. Ces règles concernent particulièrement les liaisons à la terre et les liaisons d'équipotentialité.

5.3.3.2 LE MODELE ELECTROGEOMETRIQUE

5.3.3.2.1 But du modèle électrogéométrique

Le modèle électrogéométrique est un modèle de prédiction physico-mathématique. Son but est de déterminer les points d'impact les plus probables de la foudre, afin de pouvoir apprécier l'ampleur de dégâts éventuels, et de prévoir, si nécessaire, des dispositifs de protection appropriés : paratonnerres, cages de Faraday, fils tendus.

Il faut savoir que sous sa forme actuelle, le modèle électrogéométrique n'est valable que pour les coups descendants négatifs, mais ceux-ci sont de loin les plus fréquents (90% en moyenne sur le territoire français).

Le modèle électrogéométrique définit essentiellement une distance D , appelée distance d'amorçage en fonction de la valeur de crête du courant de foudre et qui s'exprime par :

$$D = 10 \cdot I^{2/3} \quad (7)$$

avec D : distance entre traceur et objet au sol (en mètres)

I : valeur de crête du courant de foudre qui va suivre (en kilo-ampères)

La distance d'amorçage est la distance entre l'extrémité de la structure d'où est issue la décharge ascendante et le point de jonction de celle-ci avec le traceur par bonds descendants.

Les volumes de protection engendrés par les systèmes de protection foudre sont définis par la méthode de la sphère fictive.

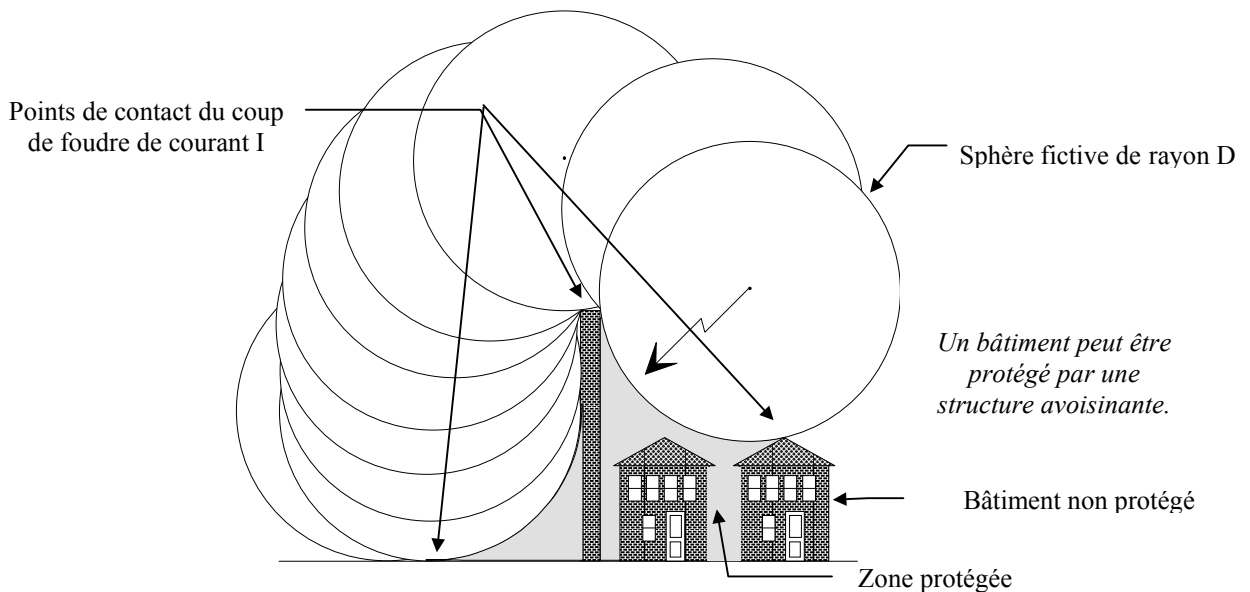


Figure 6 : Application de la méthode de la sphère fictive

Une sphère fictive de captation est associée au traceur descendant issu du nuage orageux. Si au cours du déplacement du traceur, la sphère entre en contact avec les dispositifs de protection (tige de Franklin, fil horizontal, nappe ou quadrillage de fils (cage maillée) sans jamais pouvoir toucher l'un des objets à protéger, alors la protection de ceux-ci est assurée.

Si la sphère peut entrer en contact avec l'un des objets à protéger, le système de protection foudre devra être modifié.

Le rayon de la sphère augmente lorsque le courant de foudre augmente. Lorsqu'un système de protection est mis en place pour protéger une structure contre les coups de foudre de forte intensité, le système ne protégera qu'en partie la structure contre les coups de foudre de faible intensité. Comme l'illustre le dessin ci-dessous, la sphère fictive de faible diamètre, représentant la zone de capture des coups de foudre de faibles intensités, en contact avec la structure à protéger.

Un bâtiment protégé contre un courant de forte amplitude n'est pas forcément protégé contre les coups de foudre de faible amplitude.

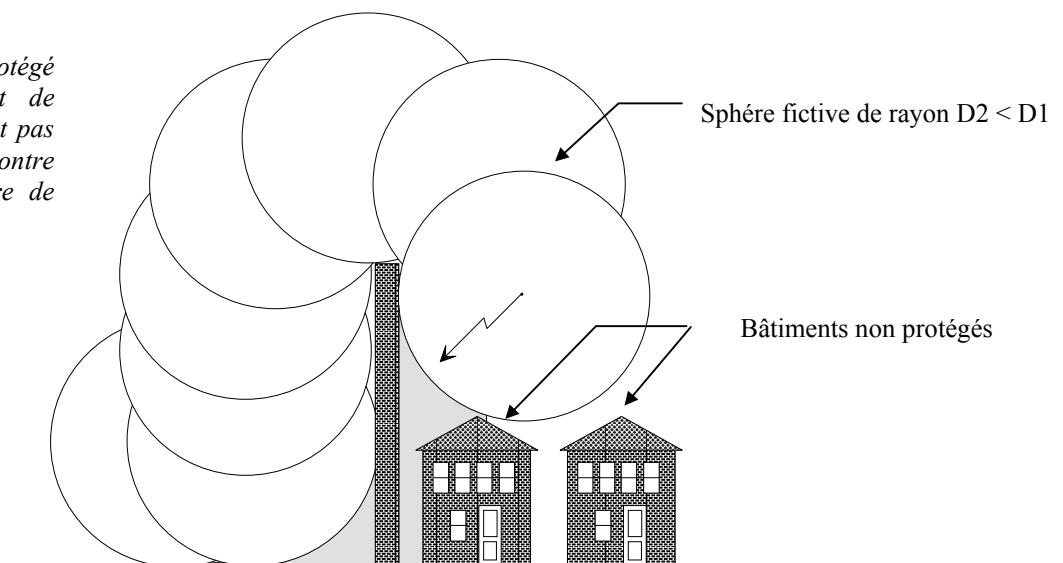


Figure 7 : Coup de foudre de faible intensité

Le choix du rayon de la sphère se fait en fonction du niveau de protection déterminé dans l'étude d'évaluation et sa valeur est au minimum de 15 m pour un courant de foudre d'intensité minimale de 2 kA.

Une structure métallique peut, sous certaines conditions, capter et écouler de manière intrinsèque les courants de foudre. Il est intéressant de savoir si les structures étudiées remplissent ces conditions avant de mettre en place, le cas échéant, une protection contre la foudre. Il faut aussi s'assurer de l'équipotentialité de toutes les masses métalliques.

La norme NF C 17-100 stipule que :

"D'une façon générale, les charpentes métalliques peuvent être utilisées comme conducteurs de descente, dans la mesure où elles sont conductrices et leurs raccordements aux conducteurs de toiture et aux prises de terre réalisés en assurant une continuité électrique de faible impédance. Dans ce cas, le bardage extérieur éventuel n'est pas protégé".

5.3.4 DETERMINATION DES PROTECTIONS CONTRE LES EFFETS INDIRECTS

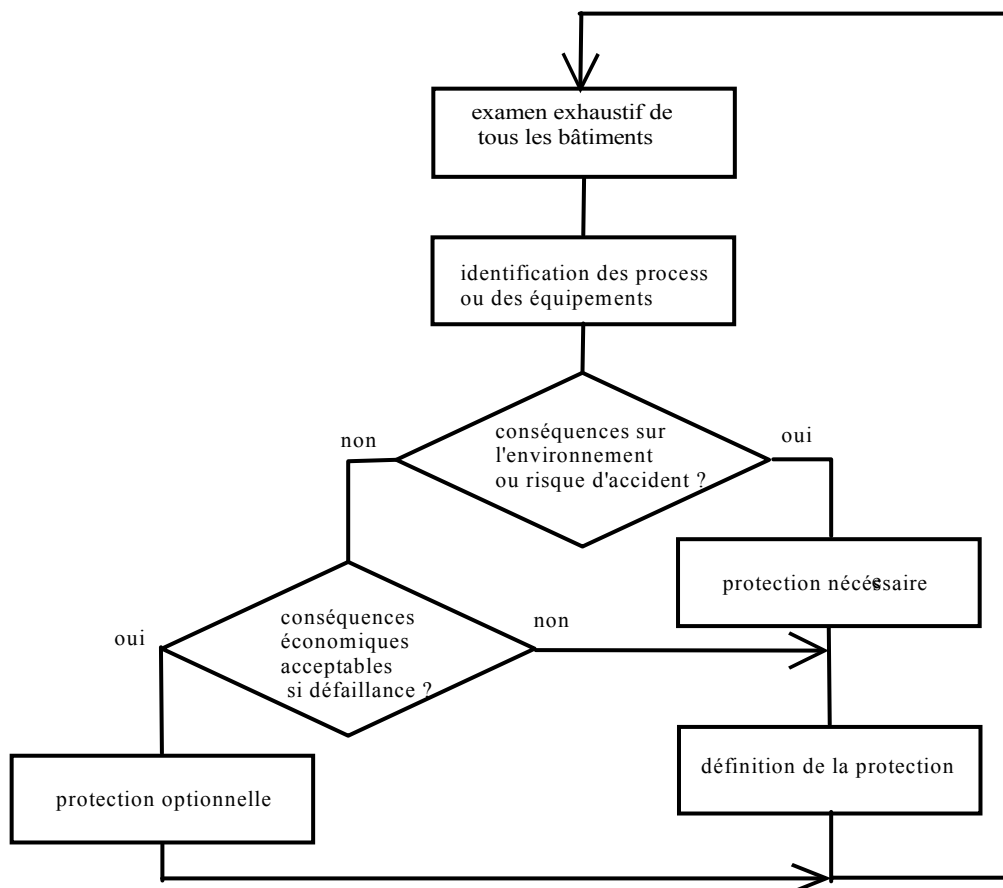
La circulaire du 28 octobre 1996 relative à l'application de l'arrêté du 28 janvier 1993 précise que les effets indirects de la foudre sont déterminés à partir d'une analyse des risques.

5.3.4.1 METHODE DETERMINISTE

5.3.4.1.1 Détermination des équipements sensibles

Le risque de foudroiement local n'est pas pris en compte dans cette méthode déterministe de définition des protections contre les surtensions. Par conséquent, quelle que soit la probabilité d'impact, un équipement sera protégé si sa défaillance peut avoir une conséquence sur l'environnement ou sur la sécurité des personnes.

L'analyse des risques dus aux effets indirects de la foudre est réalisée pour le site de manière exhaustive. En effet, pour chaque bâtiment, une analyse est réalisée selon l'organigramme suivant :



Sur le site, tous les équipements dont la défaillance peut avoir une conséquence sur l'environnement ou être à l'origine d'un accident, font l'objet d'une classification particulière. Cela signifie qu'ils possèdent une fiche de vie sur laquelle est indiquée les fonctions à vérifier ainsi que la périodicité de vérification.

Ce suivi rigoureux permet d'attester du bon fonctionnement de l'élément à la date de vérification et le cas échéant, de déclencher une réparation ou une maintenance préventive.

5.3.4.1.2 Evaluation du besoin de protection

Pour chaque bâtiment du site, une réflexion est menée pour répondre aux questions suivantes :

- Y a t'il des procédés ou des équipements à risque ?
- Comment réagit l'équipement en cas de panne d'alimentation ?
- Comment réagit l'équipement en cas de défaillance ?

Pour la première question, la notion de procédé ou d'équipement à risque est étendue aux équipements de sécurité (par exemple, aux capteurs de niveaux "très haut" des réservoirs de produits dangereux). Les équipements assurant une continuité de service sont également pris en compte (par exemple la climatisation de la salle informatique de la production).

Les informations recueillies sont rassemblées dans un tableau ayant la structure suivante :

Bâtiment	Procédé sensible	Alimentation secourue	Effet d'une coupure d'alimentation	Effet d'une panne	Besoin de protection

Les données sont inscrites dans les colonnes suivantes :

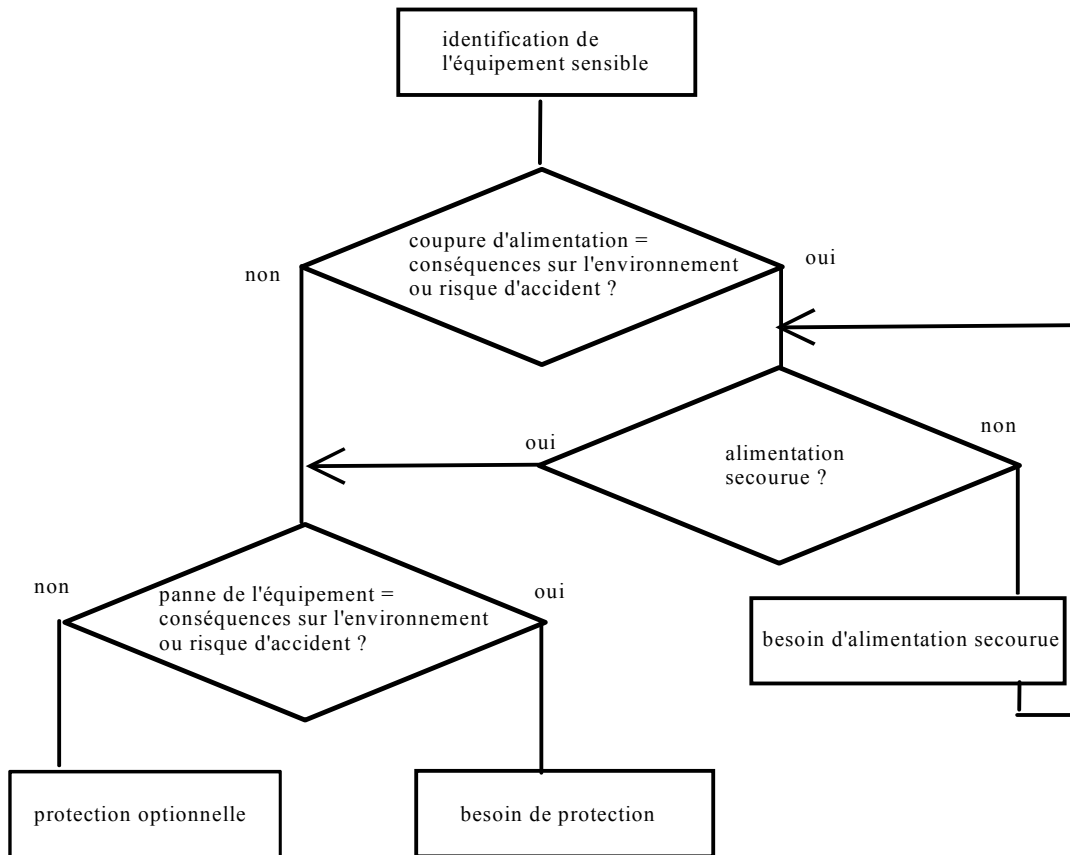
Bâtiment : identifie un lieu ou se situe un équipement ou un processus sensible.

Procédé sensible : par extension, les équipements du processus sensibles vis-à-vis des perturbations électriques conduites sur les lignes d'alimentation (par exemple le système informatique de gestion de la production). Le nombre de perturbations conduites croît lorsqu'un système de protection extérieur est installé pour attirer la foudre.

Alimentation secourue : lorsque des équipements nécessitent une continuité de service, et qu'une protection contre les coupures d'alimentation ou micro-coupures (<1s) est en place, la fonction protégée est identifiée. L'alimentation peut être secourue par un onduleur et/ou un groupe électrogène ou une autre source d'alimentation indépendante.

Effet d'une coupure ou d'une panne : pour les éléments identifiés dans la colonne *Processus à risque*, les effets d'une coupure d'alimentation sont analysés. La même réflexion est menée lorsque le processus est défaillant (une seule défaillance due à la foudre est prise en compte dans cette démarche).

Besoin de protection : En fonction des éléments des colonnes précédentes, le besoin de protection est évalué selon la méthode suivante :



Les mesures de préventions conduisent à mettre les équipements dans une position de repli en cas de perturbation. L'exemple le plus fréquent est l'utilisation de vanne à sécurité positive.

L'application de cette méthode permet d'identifier les équipements devant être protégés vis-à-vis des exigences de l'arrêté du 28 janvier 1993. Elle permet également à l'industriel de déterminer les équipements qui doivent être protégés pour des raisons économiques.

5.3.4.2 METHODE PROPOSEE PAR LE GUIDE UTE C 17-443

La protection des installations électriques basse tension contre les surtensions d'origine atmosphérique peut être déterminée en s'appuyant sur le guide pratique UTE C 17-443.

La méthode d'évaluation du risque se fonde sur la probabilité d'apparition des surtensions, et sur le bilan économique entre les coûts de la protection et les conséquences prévisibles des surtensions.

La méthode prend en compte les paramètres suivants :

- la probabilité de foudroiement local (N_g),
- le mode d'apparition des surtensions d'origine atmosphérique,
- la topographie du site,
- la nature et la valeur des matériels à protéger,
- l'existence éventuelle de surtension de manœuvre,
- les conséquences sur l'environnement.

5.3.4.2.1 Evaluation du niveau d'exposition aux surtensions de foudre

Le niveau d'exposition aux surtensions de foudre F est évalué par la formule suivante :

$$F = N_g (1 + 2 L_{BT} + T_{HTA} + \delta) \quad (8)$$

Avec N_g : densité de foudroiement local (base de données METEORAGE accessible par MINITEL),

L_{BT} : longueur (en km) de la ligne BT aérienne alimentant l'installation,
(Lorsque la longueur de la ligne BT est supérieure ou égale à 0,5 km : $L_{BT} = 0,5$),

T_{HTA} est à 0 si le réseau alimentant le poste HTA/BT est souterrain sinon il est à 1,

δ tient compte de la situation de la ligne aérienne et de l'installation. Il prend la valeur maximale résultante des situations présentées dans le tableau ci-après.

Situation de la ligne aérienne ou du bâtiment	Valeurs de δ
Complètement entourée de structures	0
Quelques structures à proximité	0,5
Terrain plat ou découvert	0,75
Sur une crête	1
Présence d'un plan d'eau	1
Site montagneux	1

Tableau 5 : Valeurs de δ

5.3.4.2.2 Evaluation des conséquences des perturbations

L'évaluation des conséquences des perturbations est donnée par la formule suivante :

$$G = S + M + I + R \quad (9)$$

avec S : sensibilité du matériel,

M : prix du matériel,

I : coût de l'indisponibilité du matériel,

R : risque pour l'environnement.

L'INERIS ajoute, par rapport au guide UTE C 15-443, le paramètre R dans le calcul de l'évaluation des conséquences (G). Ce paramètre tient compte des effets de la foudre vis-à-vis du risque sur l'environnement. Le critère d'appréciation est identique à celui du coefficient C_5 de la norme NF C 17-100 (page 43).

Les valeurs respectives que peuvent prendre ces cinq paramètres sont reportées dans les tableaux suivants.

Sensibilité du matériel	S
Tenue élevée aux surtensions	1
Tenue normale aux surtensions	2
Tenue réduite aux surtensions	3

Tableau 6 : Valeurs de S

Prix du matériel	<i>M</i>
Prix faible	1
Prix moyen	2
Prix élevé	3

Tableau 7 : Valeurs de *M*

Coût de l'indisponibilité	<i>I</i>
Sans incidence sur l'activité	1
Interruption partielle de l'activité	2
Interruption totale ou conséquence économique inacceptable	3

Tableau 8 : Valeurs de *I*

<i>R</i> : conséquences d'un foudroiement	
Pas de nécessité de continuité de service, et aucune conséquence sur l'environnement	1
Nécessité de continuité de service et aucune conséquence sur l'environnement	5
Conséquence sur l'environnement	10

Tableau 9 : Valeurs de *R*

5.3.4.2.3 *Evaluation de l'intérêt d'installer des parafoudres*

A partir de l'estimation des paramètres *F* et *G*, l'intérêt d'installer une protection est évalué comme suit :

<i>G</i> \ <i>F</i>	<i>F</i> ≤ 1	1 < <i>F</i> ≤ 2	2 < <i>F</i> ≤ 4	<i>F</i> > 4
<i>G</i> ≥ 13	Très conseillé	Très conseillé	Très conseillé	Très conseillé
<i>G</i> = 10 à 12	Conseillé	Conseillé	Très conseillé	Très conseillé
<i>G</i> = 7 à 9	Peu utile	Conseillé	Conseillé	Très conseillé
<i>G</i> ≤ 6	Peu utile	Peu utile	Peu utile	Conseillé

Tableau 10 : Installations de parafoudres

Le tableau est différent de celui proposé dans le guide UTE C 15-443 (juillet 96). Il est modifié pour prendre en compte l'ajout du coefficient R (Risque pour l'environnement) lors de l'évaluation des conséquences. La modification apportée incite à mettre en place des parafoudres dès lors qu'une perturbation électrique peut entraîner des conséquences sur l'environnement.

Lorsqu'un équipement requiert une continuité de service et que l'application de méthode de la sphère fictive montre qu'il peut être frappé directement par la foudre, une double protection est nécessaire :

- **une protection contre les effets directs (paratonnerre, cage maillée, fils tendus),**
- **une protection par parafoudres.**

5.3.4.3 CHOIX D'UN PARAFoudre

Le guide pratique UTE C 15-443 permet de choisir un parafoudre selon les paramètres suivants :

- La tension maximale de régime permanent U_c ,
- Le courant de court-circuit admissible I_{cc} ,
- Le niveau de protection U_p ,
- Le courant maximal de décharge I_{max} .

5.3.4.3.1 Choix de U_c

C'est la valeur spécifiée admissible de la tension efficace à fréquence industrielle qui peut être appliquée de façon continue entre les bornes du parafoudre sans affecter son fonctionnement. La valeur de U_c est fonction du régime de neutre du réseau.

Pour les protections entre conducteurs actifs et terre, il convient de choisir :

- Pour les réseaux IT, $U_c \geq 1,732 U_0$,
- Pour les réseaux TT et TN, $U_c \geq 1,5 U_0$,

avec U_0 : Tension simple du réseau (en Volts)

Pour les protections entre phase et neutre, il convient de choisir $U_c \geq 1,1 U_0$ quel que soit le type de réseau.

5.3.4.3.2 Choix de I_{cc}

I_{cc} est la valeur maximale de court-circuit externe admissible, définie par le constructeur, qui peut traverser le parafoudre lors d'un défaut sur la charge entre les bornes d'entrée et de sortie. Le parafoudre et son dispositif de protection contre les courts-circuits doivent être choisis de telle façon que le courant de court-circuit admissible I_{cc} soit supérieur au courant de défaut 50 Hz au droit du parafoudre.

Une valeur I_{cc} courante est de **3 kA**.

5.3.4.3.3 Choix de U_p

U_p est la tension au borne du parafoudre lors du passage du courant I_{max} . Le niveau de protection U_p est un paramètre qui caractérise les performances de protection du parafoudre et qui est choisi parmi les valeurs normales de protection dont les plus courantes pour un réseau 230/400V sont : 2,5 kV, 2 kV, 1,8 kV, 1,5 kV, 1,2 kV et 1 kV.

Pour le choix du niveau de protection U_p , il est nécessaire de tenir compte de la tenue aux surtensions de l'élément à protéger et de la tension U_c du parafoudre. Plus la valeur de U_p est faible, meilleure est la protection.

Les équipements électriques et électroniques commercialisés sur le marché Européen depuis le 01/01/96 doivent être conformes à la directive CEM 89/336. La norme générique d'immunité pour les environnements industriels NF EN 61000-6-2 (août 1999) indique l'utilisation de la norme d'essai de qualification CEI 61000-4-5 *Immunité aux ondes de chocs*. Cette norme d'essai CEM est utilisée pour vérifier la tenue aux ondes de chocs. Elle permet de vérifier que les équipements fonctionnent correctement lorsque des ondes résiduelles d'un coup de foudre sont appliquées sur les câbles. Pour un environnement *industriel*, le niveau de sévérité est de :

- 4 kV en mode commun (tension électrique entre une phase et la terre),
- 2 kV en mode différentiel (tension électrique entre phases).

En première approche, en choisissant U_p inférieur ou égal à 2,5 kV, les équipements marqués CE ne doivent pas être perturbés. Cependant, sur les sites industriels, une partie des équipements ont été qualifiés pour un environnement *résidentiel ou commercial*. C'est le cas pour les micro-ordinateurs (sauf les PC "durcis"), ou les équipements de radiocommunication (télécommandes...). Pour un environnement *résidentiel ou commercial* le niveau de sévérité est de :

- 2 kV en mode commun,
- 1 kV en mode différentiel.

Tous les équipements d'un site industriel n'ont pas été qualifiés vis-à-vis des tests à l'onde de chocs. Il y a deux raisons à cela :

- certains équipements ont été achetés avant la mise en application obligatoire du marquage CE le 1^{er} janvier 1996,
- les essais d'ondes de chocs de la précédente norme générique CEI 50082-2 n'étaient pas obligatoires.

Pour ces raisons, lorsque le fabricant d'un matériel n'indique pas à l'utilisateur final les résultats de ses essais de qualification, la valeur de U_p est généralement déterminée selon le type de matériel. Le critère de choix proposé par certains fabricants de matériels est le suivant :

Type de matériel	Valeur de U_p
Electrotechnique	2,5 kV
Electronique peu sensible	1,8 kV
Electronique sensible	1 kV
Electronique très sensible	0,5 kV

Tableau 11 : Choix de U_p

A titre d'exemple :

- les matériels électrotechniques sont les moteurs, les machines électriques de forte et moyennes puissance, les organes de commande et de coupure,
- les matériels électriques comportant de l'électronique peu sensible sont les équipements bureautiques "durcis", les machines-outils, les commandes numériques et les automates,
- les matériels électroniques sensibles sont les micro et mini-ordinateurs, les centrales d'alarme, les modems, les équipements de radiocommunications et de télécommandes radio,
- les matériels électroniques très sensibles sont les équipements médicaux, certaines balances et balances électroniques professionnelles.

5.3.4.3.4 Choix de I_{max}

I_{max} est la valeur maximale du courant de forme d'onde 8/20 μ s que peut subir un parafoudre. Cette valeur est donnée par le constructeur du parafoudre.

Le guide UTE C 15-443 propose une méthode empirique, valable en mode commun et en mode différentiel, pour le choix de I_{max} . En fonction de l'estimation du risque F (voir page 50), la valeur de I_{max} est la suivante :

Estimation du risque F	I_{max}
$F \leq 2$	≥ 10 kA
$2 < F \leq 4$	≥ 10 kA
$F > 4$	≥ 40 kA

Tableau 12 : Choix de I_{max}

Lorsqu'un paratonnerre à dispositif d'amorçage est installé sur le bâtiment dans lequel une protection contre les effets indirects est nécessaire, alors le courant I_{max} doit être choisi au moins égal à 20 kA.

Si, sur le site considéré, le niveau de foudroiement local est faible et le réseau de terre du site est de bonne qualité, des terres spéciales pour la foudre seront réalisées pour diffuser de manière satisfaisante les courants de foudre. Dans ces conditions, le courant maximal de décharge que peut subir un parafoudre est choisi à 15 kA.

Lorsqu'un paratonnerre est proche, I_{max} est choisie au minimum à 40 kA.

5.4 ÉVALUATION DU NIVEAU DE PROTECTION EXISTANT

L'Union des Industries Chimiques (UIC) a publié le cahier "Recommandation pour la protection des installations industrielles contre les effets de la foudre et des surtensions". Ce cahier est mentionné dans la circulaire d'application de l'arrêté du 28 janvier 1993. Le respect des recommandations du guide rend conforme l'installation vis-à-vis de l'arrêté. Le nombre de prises de terre nécessaires aux bacs y est indiqué en fonction de leurs volumes.

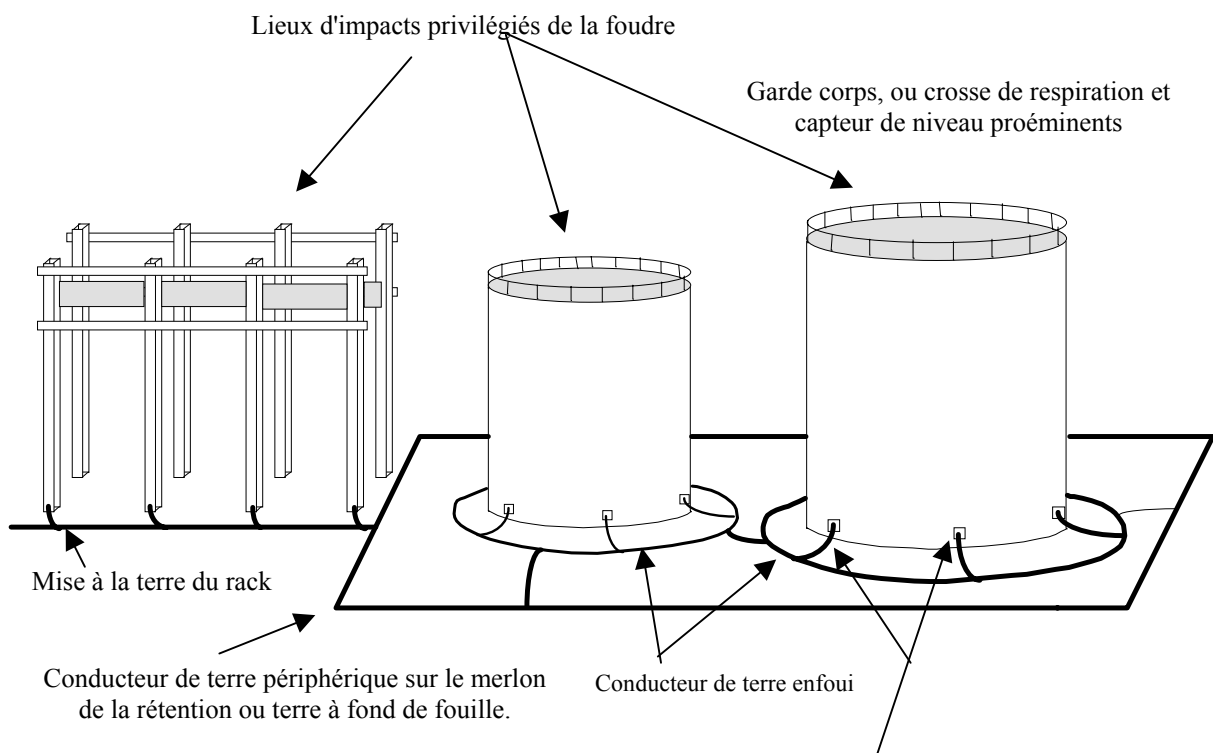
Concernant la mise à la terre des bacs, le Groupe d'Etude de Sécurité des Industries Pétrolières (GESIP) a publié le rapport "Recommandations pour la protection contre la foudre des installations pétrolières et pétrochimiques". Ce rapport propose des règles communes de mise à la terre pour tous les bacs de stockage.

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

- a) les bacs cylindriques d'un diamètre au moins égal à 15 mètres (NFPA/780 de 1997), posés directement sur le sol, sur un support en béton armé ou une galette bitumeuse ont une mise à la terre de fait,
- b) les bacs ne répondant pas aux critères ci-dessus devront être raccordés à un circuit de terre par au moins deux points.

Lorsque le diamètre des réservoirs n'est pas suffisamment important pour affirmer que leur résistance de mise à la terre soit suffisamment faible, il faut réaliser les mesures de résistance de mise à la terre. Cela peut démontrer que la mise à la terre est suffisante, lorsque le nombre de liaisons au conducteur périphérique de terre n'est pas celui recommandé dans les guides.

Lorsque la perte de confinement d'un produit non inflammable est inacceptable, ou lorsque le produit stocké est inflammable, la protection d'un réservoir non métallique s'impose. Pour cela, différentes solutions peuvent être envisagées. Les fils tendus ou un paratonnerre à proximité sont des solutions couramment retenues.



Volume du réservoir	Nombre de raccordements au conducteur de terre
$\leq 300 \text{ m}^3$	2
$300 \text{ m}^3 < V \leq 1\,000 \text{ m}^3$	3
$1\,000 \text{ m}^3 < V \leq 5\,000 \text{ m}^3$	5
$5\,000 \text{ m}^3 < V \leq 10\,000 \text{ m}^3$	7
$V > 10\,000 \text{ m}^3$	10

Tableau 13 : Mise à la terre des réservoirs préconisée par l'UIC

5.5 PRECONISATIONS DE PROTECTION

La mise en place de systèmes de protection peut être décidée pour deux raisons :

1. l'obligation réglementaire pour les ICPE (arrêté du 28 janvier 1993),
2. la protection de l'outil de travail (limitation des pertes d'exploitation).

Il est souvent préférable de séparer les protections obligatoires des protections volontaires. De plus, il convient, lorsque la mise en place des protections est étalée dans le temps, de commencer par les protections indirectes (parafoudres). Les perturbations conduites sont plus fréquentes qu'un foudroiement car elles peuvent provenir d'un coups de foudre éloigné du site à protéger.

La partie *Préconisations de protection* de l'étude préalable de protection foudre doit être courte et précise. Il n'est pas utile de justifier la mise en place des systèmes de protection car ce point doit avoir été traité précédemment. Cette partie, lorsqu'elle est suffisamment précise, sert de cahier des charges pour l'installateur. Ce dernier pourra proposer un modèle d'équipement, et le mettre en place à l'endroit indiqué. L'avantage d'avoir une partie préconisation bien identifiée dans l'étude, est de permettre au lecteur d'identifier rapidement les mesures à prendre. Il pourra vérifier après coup si les mesures de protection mises en place correspondent bien aux recommandations de l'étude.

Avant de définir les moyens de protection les plus adaptés pour obtenir l'efficacité recherchée, il est intéressant d'assurer la prévention. En effet, pour assurer une continuité de service de certaines activités, des moyens matériels sont mis en place. Il s'agit d'équipements (onduleurs, groupes électrogènes) permettant de produire l'énergie nécessaire à la poursuite des activités lorsqu'une coupure d'alimentation se produit. Les équipements de secours sont dimensionnés pour assurer une autonomie et une puissance suffisantes. La disponibilité de ces équipements est périodiquement vérifiée.

La prévention des accidents s'appuie sur des moyens matériels et sur l'application de procédures d'exploitation. Les dispositions les plus courantes à l'approche d'un orage sont les suivantes :

- déconnexions des appareils sensibles,
- mise en marche d'un groupe électrogène,
- commutation de l'alimentation sur une ligne protégée (seconde ligne d'alimentation lorsque l'entreprise est alimentée par deux lignes différentes, onduleur, groupe),
- interdiction de démarrer une manipulation dangereuse,
- arrêt des activités à risques en cours.

Pour aider à la prise de décision, il est conseillé d'utiliser un service Alerte-Foudre ou de s'équiper d'une station de météorologie locale. En France, les sociétés METEORAGE et DIMENSION proposent des services d'alerte. Le Centre Opérationnel de METEORAGE surveille le site de l'abonné 24h/24, 365 jours par an, et l'alerte avec un préavis suffisant par téléphone, télécopie et/ou alphanumérique de l'arrivée et de l'éloignement d'un front orageux. Alerté à temps, l'abonné prend les dispositions de sauvegarde et de protection appropriées. L'indication de fin d'alerte permet de reprendre l'activité normale.

Il est souhaitable d'utiliser un service d'Alerte Foudre pour décider l'arrêt du dépotage des réservoirs. La plupart des études foudre recommandent l'arrêt des dépotages à l'approche d'un orage, un système d'alerte permet d'anticiper les actions de protections.

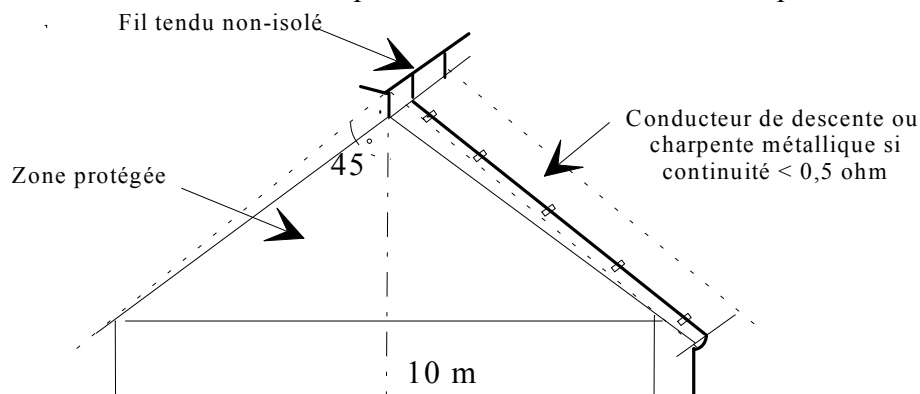
5.5.1.1 EXEMPLE DE PROTECTION SANS PARATONNERRE

Une charpente métallique peut constituer une protection de type "cage maillée" vis-à-vis de la foudre. Un impact de foudre destiné au bâtiment de stockage va inévitablement percer la toiture en Fibrociment avant d'entrer en contact avec la charpente. Il y aurait donc une source de chaleur importante dans la zone à risque d'incendie et d'explosion.

Pour limiter ce risque, une solution consiste à installer une **protection par fil tendu non isolé**. Un conducteur tendu à une hauteur convenable sur la cime du toit présente une zone de protection qui englobe la structure.

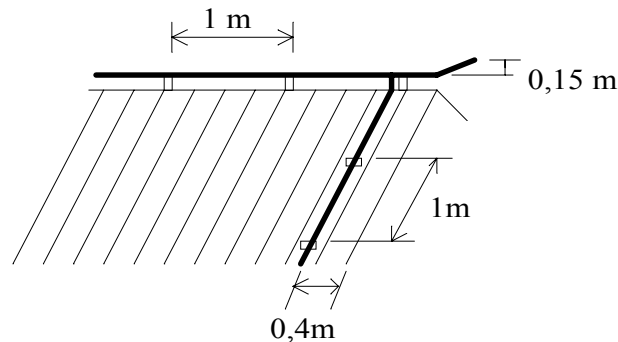
Pour un niveau de protection I (le plus sévère), l'angle de protection (α) vaut 50° lorsque la hauteur du dispositif de capture au-dessus du volume à protéger est à 9 m (c.f. NF C 17-100).

La norme internationale CEI 61024-1-2 (1998) donne un exemple détaillé d'un système de protection d'une structure avec toiture en pente. L'installation du conducteur de capture est représentée sur le schéma ci-dessous. Une partie du conducteur sera électriquement reliée à

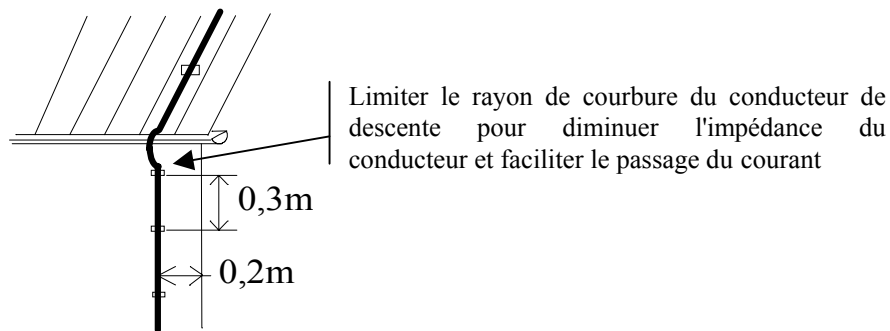


la charpente métallique.

Figure 8 : Zone de protection offerte par un fil tendu



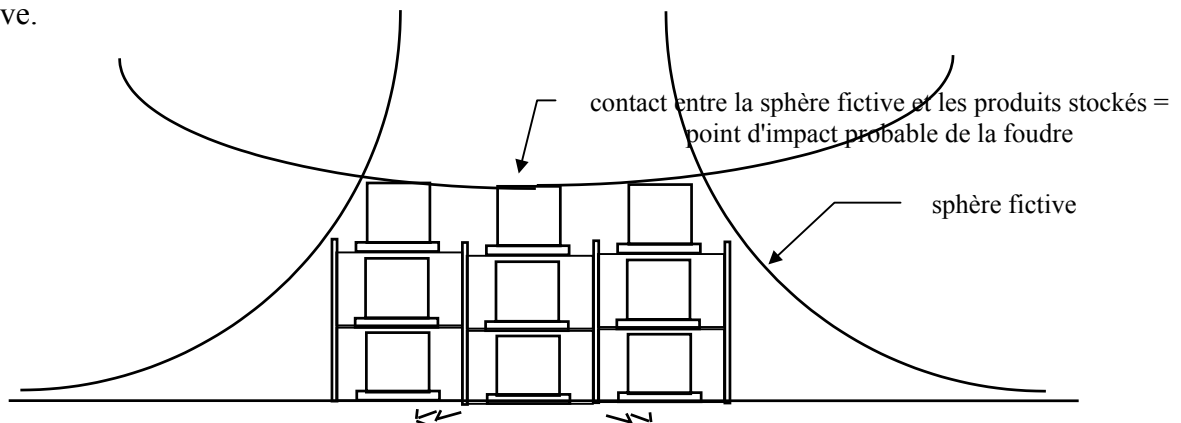
A chaque extrémité du toit, une **pointe de 0,3 m** constitue un point d'impact privilégié.



5.5.1.2 EXEMPLE DE PROTECTION DE PALETTIERS

Les palettiers généralement utilisés sur les sites industriels sont métalliques. Les éléments porteurs verticaux sont des pointes au sommet desquelles le champ électrique est renforcé à l'approche d'un nuage orageux.

C'est très probablement au sommet de ces pointes qu'un impact se produira lors que la foudre frappera cette zone. Cependant, si les produits stockés au dernier niveau sont de même hauteur ou plus hauts, l'impact peut frapper directement le produit (fût, conteneur, bidon...). L'application de la méthode du modèle électro-géométrique proposé dans la norme NF C 17-100 (méthode de la sphère fictive) permet d'estimer la localisation des points d'impacts préférentiels de la foudre. Le dessin ci-dessous illustre la méthode de la sphère fictive.



← étincelage au sol = incendie de flaque

Les deux événements indésirables à craindre sont :

1. impact direct sur un produit (dispersion et inflammation),
2. étincelage au sol (inflammation d'une flaque).

Pour limiter ces risques, les mesures suivantes peuvent être adoptées :

1. Pour éviter l'impact direct sur un produit

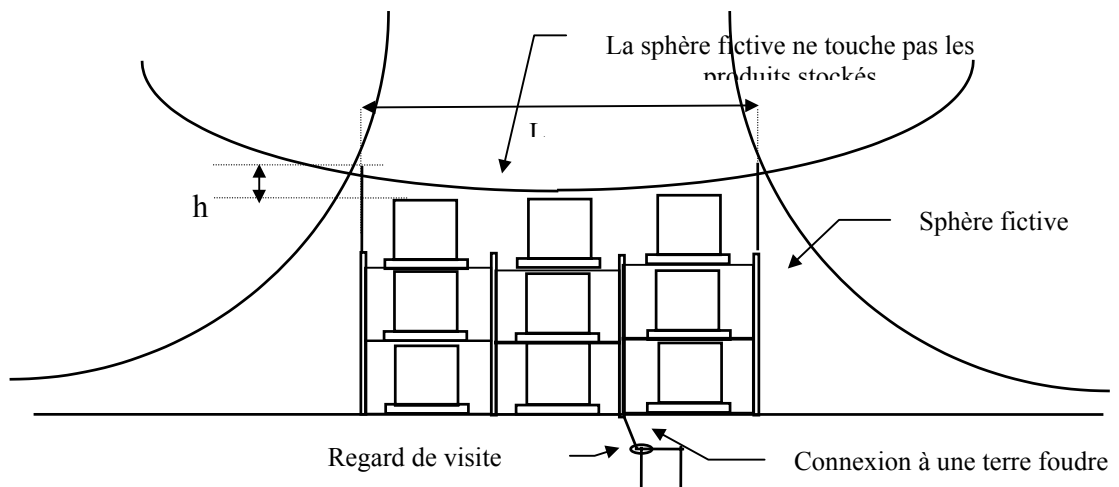
solution 1 : ne pas stocker de produit inflammable ou toxique sur le dernier niveau des palettiers. Cette solution est satisfaisante pour la protection contre la foudre, mais pénalisante pour l'exploitation car elle réduit considérablement la capacité de stockage.

solution 2 : rehausser les poteaux verticaux.

en rehaussant les poteaux, l'impact de foudre n'atteindra pas directement les produits. Il n'y a plus de risque de perforation du contenant avec dispersion du contenu et éventuellement inflammation.

2. Supprimer les étincelles au sol

Pour supprimer les étincelles qui vont courir sur le sol lors d'un impact sur un palettier, il faut proposer au courant de foudre un chemin facile (présentant une faible impédance), c'est-à-dire créer une terre foudre et y relier le palettier. Le dessin ci-dessous illustre la mise à la terre des palettiers.



La hauteur minimum des poteaux rehaussés est fonction de leur éloignement. Le tableau ci-dessous donne la différence de hauteur entre le sommet du poteau et la hauteur maximum du produit stocké pour un niveau de protection I (rayon de la sphère 20 m).

L	h
10 m	0,6 m
15 m	1,45 m
20 m	2,7 m
25 m	4,4 m

Tableau 14 : Hauteur des poteaux de palettiens par rapport aux produits stockés

Cas des palettiens en bordure de bâtiment :

Lorsque des palettiens sont installés le long d'un bâtiment dont la charpente métallique est reliée à la terre, il suffit de relier le palettier à la charpente.

Lorsqu'un palettier est adossé à un bâtiment plus haut, il est protégé contre les coups de foudre.

Conseils de protection des activités

Généralement, les conseils de protection pour raisons économiques concernent la protection par parafoudres. Cependant, il peut aussi s'agir de protéger un stockage de produit non toxique et non inflammable à forte valeur ajoutée.

5.6 REALISER ET MAINTENIR UN NIVEAU DE PROTECTION

5.6.1 MISE EN CONFORMITE DES INSTALLATIONS

5.6.1.1 SUIVI DES TRAVAUX

Il est indispensable de désigner la personne qui va suivre les travaux de mise en conformité. Si l'industriel n'a pas la disponibilité de confier cette tâche à une personne de l'entreprise, il est souhaitable qu'il fasse appel à un bureau d'ingénierie.

Une partie des travaux consiste souvent à réaliser des terres foudre. Deux configurations sont proposées dans la norme NF C 17-100, la patte d'oie ou le triangle. Une autre possibilité lors de la construction d'un ouvrage neuf consiste à réaliser une terre en fond de fouille (un conducteur est enfoui dans les fouilles avant de réaliser les fondations). Ce conducteur remonte régulièrement de la fondation pour permettre le raccordement de toutes les parties métalliques de la structure et de bornes de raccordement à la terre.

Au moment de la réception des travaux, il est difficile de qualifier cette prise de terre en haute fréquence. Il est donc, nécessaire, de vérifier la configuration et la présence des interconnexions avant l'enfouissement des conducteurs. Les difficultés rencontrées sur un chantier sont souvent liées au nombre important d'intervenants de professions et d'entreprises dont les priorités et les objectifs sont différents. L'équipotentialité des masses,

qui constitue un élément important de la protection, est l'affaire de tous les intervenants, non seulement des électriciens mais aussi des maçons, des charpentiers, et des équipementiers.

Lorsque les préconisations de l'étude préalable ne précisent pas le cheminement des conducteurs de descente, il faut veiller au respect des distances de sécurité entre les conducteurs de descente et les masses des installations. (câbles, canalisations, équipements). La norme NF C 17-100 définie la distance de sécurité est donnée par la formule :

$$D > n \frac{k_i}{k_m} l$$

avec :

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

5.6.2 VERIFICATIONS PERIODIQUES

La norme NF C 17-100 recommande des vérifications dont la périodicité dépend du niveau de protection retenu. Ces vérifications concernent les prises de terre (anciennes et nouvelles) ainsi que les parafoudres lorsque cela est possible.

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

Tableau 15 : Périodicité des vérifications des protections contre la foudre

Le chapitre 7.2.2 de la norme NF C 17-102 précise qu'une vérification consiste à une inspection visuelle et à réaliser des mesures. Ces vérifications font l'objet d'un rapport de vérification.

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

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

Des mesures doivent être réalisées pour vérifier :

- la continuité électrique des conducteurs non visibles,
- la résistance des prises de terre (toute évolution doit être analysée),
- les bornes de mesures (ou joints de contrôle) à 2 m du sol sur les descentes foudre permettent la déconnexion du dispositif de protection foudre pour mesurer la valeur de la résistance de terre (valeur inférieure à 10 ohms selon la norme NF C 17-100).

5.6.3 INFLUENCE DES TRAVAUX NEUFS

Ce paragraphe présente les règles générales à suivre lorsque des travaux sont réalisés sur un site. En respectant ces règles simples, les installations resteront conformes à l'arrêté du 28 janvier 1993.

Lorsque les structures ont une ossature métallique, les composants naturels métalliques des infrastructures vont participer à la connexion foudre (impact sur la structure) et à l'écoulement des courants de foudre vers le sol.

Il est indispensable d'assurer l'écoulement des courants de foudre en général de la partie haute des structures métalliques vers les structures en liaison avec le sol. Il faut également s'assurer de l'écoulement des courants de foudre dans le sol grâce à des prises de terre bien réparties ou un ceinturage par conducteur enterré.

Le réseau de terre du site doit donc comprendre de nombreuses parties conductrices enterrées en liaison intime avec la terre. Les composants naturels métalliques peuvent être pris en compte pour la réalisation du système de protection foudre sous réserve :

- que leurs épaisseurs soient égales ou supérieures à 4 mm pour l'acier lorsque la perforation par l'impact doit être exclue,
- que leurs épaisseurs soient égales ou supérieures à 2,5 mm pour les tuyaux et réservoirs métalliques lorsque le risque de perforation ou de point chaud est toléré,
- que les épaisseurs des tôles soient égales ou supérieures à 0,5 mm lorsque la perforation et le point chaud sont tolérés.

6 LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation précise	Nb pages
Annexe 1	Accidents initiés par la foudre – Données du BARPI	13
Annexe 2	Arrêté du 28 janvier 1993	2
Annexe 3	Circulaire n° 93-17 du 28 janvier 1993	8
Annexe 4	Circulaire du 28 octobre 1996	12

Annexe 1 :

Accidents initiés par la foudre

Données du BARPI

La base de données ARIA, exploitée par le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, recense essentiellement les événements accidentels qui ont ou qui auraient pu porter atteinte à la santé ou la sécurité publique, l'agriculture, la nature et l'environnement. Pour l'essentiel, ces événements résultent de l'activité d'usines, ateliers, dépôts, chantiers, carrières, élevages, ... et du transport de matières dangereuses. Le recensement des événements accidentels réalisé dans ARIA ne peut être considéré comme exhaustif.

Lorsque des statistiques sont fournies, elles portent sur un échantillon référence composé des accidents pris en compte dans ARIA et survenus en France dans la période du 1^{er} janvier 1992 au 31 décembre 1998

Nombre d'événements répertoriés : 57

No 12218 – 19/04/79 ETATS UNIS – PORT NECHES

61.1 - Transports maritimes et côtiers

Une explosion se déclare sur un pétrolier de 125 000 t ayant déchargé 50 % de sa cargaison et frappé par la foudre. Consécutivement, 2 citernes explosent. L'appontement est endommagé.

No 12219 – 01/09/79 ETATS UNIS - DEER PARK

61.1 - Transports maritimes et côtiers

A la suite d'un orage, la foudre frappe un pétrolier ayant déchargé 40 % de sa cargaison. Le navire explose et les débris perforent un réservoir d'éthanol à bord et s'embrase. Une fuite de 1 550 m³ se répand dans le canal de navigation qui s'embrase à son tour. Les coûts sont estimés à 96,56 millions de dollars.

No 101 66 – 23/07/80 ETATS UNIS – SEADRIFT

YY.0 - Activité indéterminée

Un réacteur contenant de l'oxyde d'éthylène explose (CVCD = Confined Vapour Cloud Detonation). La foudre est à l'origine de l'accident. Les dommages sont importants et les coûts s'élèvent à 14,986 M\$.

No 6139 – 24/03/8663 – ISSOIRE

27.4 - Production de métaux non ferreux

Une explosion se produit dans une fonderie, sur une machine de coulée alimentée en gaz naturel. La foudre forme un arc électrique au niveau du chantier de coulée et provoque une pulvérisation d'aluminium liquide. Le brouillard formé, en s'élevant au contact de l'air provoque l'explosion. Le câble du descendeur se rompt et entraîne dans le puits la chute du mécanisme.

Survient une seconde explosion moins violente. Une torchère se déclare suite à la rupture de canalisation gaz. Les secours sont rapidement sur place (6 min. après l'alerte). On déplore 4 morts et 25 blessés. Des rafales de vents arrachent les tôles de couverture et le bardage du hall. Des pièces de plusieurs dizaines de kilo sont retrouvées à des distances de 4 à 500 m.

No 6541 - 30/O6/87 ETATS UNIS

40.3 - Production et distribution de chaleur

Dans une chaufferie urbaine, la foudre tombe sur une chaudière alimentée au gaz naturel et perce une vanne au niveau de l'entrée du gaz aux brûleurs. Aucune explosion ne se produit, mais un feu bref se déclare jusqu'à ce que la ligne soit isolée. Le bâtiment est évacué et la circulation est interrompue sur les routes voisines.

No 15749 – 01/07/87 38 - Le PONT-DE-CLAIX

24.1 - Industrie chimique de base

Dans une usine chimique produisant du chlore, une salle d'électrolyse s'arrête à la suite d'une micro-coupure électrique lors d'un orage. Une manœuvre inadaptée provoque une remontée de chlore gazeux sous pression dans une colonne non pressurisée et située en amont d'un compresseur qui était resté en fonctionnement. La tête de la colonne se soulève et 6 kg de chlore sont émis à l'atmosphère.

No 11262 - 01/01/8884- L'ISLE-SUR-LA-SORGUE

24.1 - Industrie chimique de base

(Date exacte inconnue).

Dans une usine chimique, pendant un orage, des ouvriers procèdent à la remise en route d'une nitration après une coupure de courant. Un impact de foudre proche et une boule de feu sont observés et des flammes de quelques dizaines de cm apparaissent sur le couvercle du nitreur. Le feu est arrêté en 10 s par vidange de la chaîne de nitration (vide vite). La foudre n'est pas tombée sur le paratonnerre proche mais sur le toit du bâtiment du réacteur, a détérioré du calorifuge et des câbles à proximité de l'appareil. Des contrôles ont montré la conformité de l'installation électrique. L'incident est dû à un effet indirect de la foudre. Une étude du risque foudre est engagée.

No 7508 - 02/05/88 01 – BALAN

60.3 - Transports par conduites

A l'aube, la foudre frappe un joint isolant aérien situé sur une ligne d'alimentation aérienne d'un capteur de pression à 1,75 m d'une canalisation de transport à 80 bars. Il s'ensuit une fuite d'éthylène qui s'enflamme. Le personnel intervient en coupant l'arrivée de gaz et en refroidissant les structures métalliques voisines. Le feu est maîtrisé en 90 mn. L'exploitant envisage d'effectuer une étude de protection contre la foudre.

No 357 - 17/06/88 ETATS UNIS - SPRINGFIELD – MASSACHUSETTS

24.6 - Fabrication d'autres produits chimiques

Un incendie initié par la foudre se produit dans une unité de fabrication de chlore pour la désinfection des piscines (100 t de chlore sont impliquées). Un nuage toxique dérive sur 3,5 km. Des mesures d'évacuation sont prises dans une zone de 1,6 km autour de l'usine et de 3,5 km dans le sens du vent. L'accident concernera 20 000 personnes pendant 3 jours, 275 personnes seront intoxiquées.

No 654 - 23/09/88 13 – ROGNES

85.1 - Activités pour la santé humaine

Lors d'un orage, un incendie se déclare sur un transformateur qui vient d'être frappé par la foudre. Le risque d'émission toxique liée au pyralène est maîtrisé. 87 pensionnaires d'une maison de retraite sont évacués, 2 pompiers sont sérieusement incommodés.

NO 12227 - 22/03/89 ROYAUME UNI - SULLOM VOE

YY.0 - Activité indéterminée

Lors d'un violent orage, un feu se déclare sur un réservoir. Le feu est maîtrisé en un peu plus de 2 heures. L'accostage de bateau et le chargement des navires est interrompu pendant une heure.

No 9045 - 07/06/89 ALLEMAGNE – OBERHAUSEN

24.1 - Industrie chimique de base

La foudre tombe au voisinage d'une usine chimique; les courants induits dans les circuits de commande provoquent l'arrêt de l'unité d'acide nitrique. Au cours des essais de redémarrage, les gaz nitreux refluant par le compresseur et sont rejetés à l'atmosphère.

No 1001 - 12/08/89 CHINE – QINGDAO

51.5 - Commerce de gros de produits intermédiaires non agricoles

La foudre frappe une citerne dans un dépôt de pétrole et provoque un incendie. Plus de 40 000 tonnes de pétrole sont perdues. Les moyens déployés sont importants (100 camions incendiés et plusieurs hélicoptères). 19 morts et 74 blessés (la plupart des pompiers) sont à déplorer.

No 1884 - 22/04/90 69 - PIERRE-RENITE

24.1 - Industrie chimique de base

A la suite d'une coupure d'électricité provoquée par la foudre, une surpression se produit dans une unité de production de FORANE. Un nuage toxique se forme. Des rideaux d'eau rapidement mis en place freinent la dispersion du nuage tout en entraînant la formation d'un important brouillard. Les pompiers externes n'ont pas eu à intervenir.

No 1587 - 21/06/90 RUSSIE – KARKATEEVY

51.5 - Commerce de gros de produits intermédiaires non agricoles

Un incendie probablement initié par la foudre, détruit une cuve de pétrole de 5000 tonnes. Atteint par un vent violent, l'incendie se propage à trois autres réservoirs qui explosent. 9 hectares de terrain sont brûlés. Un train chargé de 60 tonnes de neige carbonique est dépêché dans la zone.

No 2715 - 05/07/91
29 – PLEUCADEUC

24.4 - Industrie pharmaceutique

A la suite d'un coup de foudre sur le poste de relevage des eaux usées d'une usine de chimie fine, la téléalarme de la cuve de rétention est endommagée.

Le disjoncteur déclenche également, les pompes de relevage s'arrêtent. Cette cuve déborde et 150 m³ environ d'effluents bruts de cystine (extrait de plumes de volaille) se déversent dans le ruisseau des NOES. La qualité des eaux est altérée jusqu'à la confluence avec LA CLAIE; aucune conséquence notable n'est cependant observée sur la faune piscicole.

NO 3140 - 21/08/91 AUSTRALIE – MELBOURNE

YY.0 - Activité indéterminée

Des incendies se produisent sur un site de stockage comprenant 47 réservoirs dont 26 contiennent des produits chimiques liquides (benzène, phénol, MEC, acrylonitrile, méthacrylate de méthyle, etc.);

27 réservoirs sont détruits ou très endommagés. Une fumée toxique (benzène, HCN, etc.) dérive hors du site. L'intervention qui débute 6 min après le départ des feux, se prolonge jusqu'au lendemain vers 16 h ; 450 m³ d'émulseur AFFF sont utilisés. Des milliers de personnes sont évacués dans un rayon de 2 km. La foudre serait à l'origine de l'accident. Les pertes pour interruption de travail sont estimées à 40 M\$ (200 MF) et les dommages matériels à 11 M\$. Les personnes sur ou près du site doivent porter des appareils respiratoires.

No 3661 – 29/05/92
12 - LA LOUBIERE

52.4 - Autres commerces de détail en magasin spécialisé

Un incendie est provoqué par la foudre dans un hangar servant d'atelier à une entreprise de fabrication de salons de cuir mais aussi d'entrepôt à une entreprise de pose de lignes téléphoniques. L'atelier, l'entrepôt, ainsi que 2 camions, sont détruits.

No 12233 - 08/01/93

OFTESIL – PAULINIA

YY.0 - Activité indéterminée

Un réservoir de 12000 m³ de gasoil est frappé par la foudre lors de son remplissage et explose. Le feu est maîtrisé au terme de 12 heures d'intervention. Les réservoirs voisins sont préservés.

No 5060 - 02/07/9394 – CRETEIL

90.0 - Assainissement, voirie et gestion des déchets

Un orage provoque l'arrêt d'un ventilateur d'éjection des gaz de combustion d'une installation de traitement de déchets hospitaliers et urbains. Les gaz de combustion sont évacués sans filtration suite au déclenchement d'une sécurité. Des fumées noirâtres se dégagent. Le ventilateur d'éjection est remis en état après quelques jours d'arrêt.

No 4801 - 22/09/93 69 - RILLIEUX-LA-PAPE*41.0 - Captage, traitement et distribution d'eau*

La foudre tombe sur le transformateur principal (63 kV) d'une usine de production d'eau potable ayant un débit de

300 000 m³/j. Alimenté par les 6 000 l d'huile du transformateur, un incendie se déclare (flammes de 50 m de haut). Le système de distribution, de moyenne tension, est endommagé par effet domino et les 5 pompes de prélèvement sont mises hors service. Les circuits hydrauliques et le champ captant (114 puits) ne sont pas atteints. La mise en place de dispositifs de secours permet d'alimenter la ville de Lyon en eau potable. Les pompiers interviennent durant 6h00 pour éteindre l'incendie. Les dommages matériels s'élèvent à 11,5 MF et nécessitent 3 mois de travaux.

No 8466 – 05/06/94 CANADA – IMPERIAL*01.1 - Culture*

Un incendie, causé probablement par la foudre, se déclare dans un silo de froment.

5 heures plus tard l'incendie est sous contrôle des pompiers. Le silo de 2 300 m³ était à 60 % plein. Le total des pertes ne sera connu qu'après investigation. Un programme de transvasement du silo est en cours. Un établissement, situé à proximité du silo, servant d'entrepôt de produits chimiques agricoles, est préservé ainsi que son contenu.

No 14442 – 27/06/94 ALLEMAGNE – GERNESHEIN HESSEN*23.2 - Raffinage de pétrole*

Une explosion suivie d'un incendie se produit sur un réservoir contenant 354 tonnes de méthanol à cause de la foudre. Les pompiers maîtrisent l'incendie et le mélange eaux d'extinction / méthanol est traité. Il n'y a aucune victime. Les dégâts sont estimés à 1 million de DM.

No 5655 – 24/07/94 ROYAUME UNI – PEMBROKE*23.2 - Raffinage de pétrole*

Lors d'un violent orage, 2 explosions peu violentes entraînant 2 foyers se déclarent tôt le matin dans une raffinerie. Des unités sont arrêtées pour intervenir et remises en route en fin de matinée après extinction. A 13h30, une violente explosion survient dans le secteur du craqueur catalytique. Le bruit est perçu à 15 km, le souffle arrache un bâtiment administratif de ses fondations à 200 m et une boule de feu est observée. 26 employés sont blessés, 130 pompiers interviennent et 3 foyers sont maintenus durant 48 h pour la mise en sécurité des installations. La 1ère phase est liée à la rupture d'un piquage sur une capacité du réseau torche.

Une panne informatique (foudre) durant le redémarrage serait à l'origine de l'explosion principale.

No 6678 - 28/07/94 76 – CIDEVILLE*60.3 - Transports par conduites*

Un gazoduc de 450 mm sous 50 bars enterré à 1,20 m est perforé par la foudre et s'enflamme en plein champ. Des flammes de 10 m de hauteur sont observées, le maïs est brûlé sur 10 m de rayon. L'impact se situe à l'aplomb d'un piquet en bois planté dans le sol servant à repérer l'ouvrage; il présente trois orifices de 1,5 et 30 mm² au centre de 2 cratères distants de 10 cm. La purge du tronçon concerné (volume en eau 2.590 m³, longueur 16,6 km), par lâcher de 127.000 m³ de gaz en 2h40 dans une station de pompage proche permet de stopper l'incendie puis d'effectuer les réparations dans la nuit. La remise en service est réalisée en moins de 30 h. Après ventilation, remplacement d'un tronçon de 2 m et radiographie des nouvelles soudures.

No 6675 - 29/07/94 38 – ROISSARD*91.3 - Autres organisations associatives*

Dans une colonie de vacances, la foudre tombe sur le paratonnerre, provoquant un arc électrique entre le paratonnerre et la canalisation enterrée d'alimentation en gaz des cuisines depuis une citerne de propane. Le gaz s'enflamme alors. Une personne réagit rapidement et éteint le feu avec un extincteur. Cependant, le déclencheur -détendeur défaillant de la citerne n'interrompt pas l'alimentation malgré la dépression liée à la fuite et le gaz continue de sortir. La vanne manuelle de la citerne, grippée, ne pourra être manœuvrée plus tard que par un pompier. 124 enfants et moniteurs doivent être évacués durant l'intervention. Le

détendeur est changé la nuit même par la société de distribution, propriétaire de la citerne.

La conduite, enterrée, était en cuivre et passait à 20 cm du paratonnerre (les règles de l'art préconisent une distance de 1 m). La démolition du bâtiment était prévue pour août 1994 et l'installation de gaz devait être remplacée.

No 6109 - 05/08/94 85 - La GAUBRETIERE*36.1 - Fabrication de meubles*

La foudre tombe sur le bâtiment en aluminium d'une fabrique de meubles et provoque un incendie. Après avoir découpé le toit, la foudre se propage aux circuits électriques des 12 cabines de vernissage de l'entreprise. Trois d'entre elles s'embrasent. Le système de sécurité incendie, à poudre, se déclenche et contient le sinistre jusqu'à l'arrivée des pompiers. Grâce à la présence d'un mur coupe feu, le sinistre est maîtrisé en 2 heures. Les 1.200 m² de toitures sont endommagés ainsi que 420 m² de locaux. Les trois cabines de peinture et une chaîne de vernissage sont hors service. Les dommages matériels et les pertes de production s'élèvent à 4,9 MF.

No 13342 - 07109194 ALLEMAGNE - SAD BREISIG*24.7 - Fabrication de fibres artificielles ou synthétiques*

Sur un site de production de polyuréthane, un bloc de mousse découpé et acheminé par une bande transporteuse vers un stockage de mûrissement, prend feu. Le feu menaçant un hangar, les pompiers et le personnel évacuent les matières premières dans une autre usine de la firme. Mais les opérations d'extinction menées par les pompiers n'empêchent pas la propagation du feu au hangar. L'autoroute proche de l'usine est formée pendant 2 heures. Le hangar de stockage, deux entrepôts et 20 t de produits dérivés du polyuréthane sont brûlés. Les dommages s'élèvent à 4,5 M DM. Une entreprise de nettoyage industriel pompe les eaux d'extinction provenant de l'installation de moussage. Une charge électrostatique provenant de la foudre serait à l'origine du sinistre.

NO 6220 - 08/10/94 ETATS UNIS - PORTLAND*60.3 - Transports par conduites*

Un coup de foudre interrompt l'alimentation électrique des appareils informatiques de conduite et de contrôle d'une station de pompage équipant un pipeline de pétrole brut. Des ordres erronés sont donnés par l'ordinateur, conduisent à la fermeture intempestive d'une vanne principale du pipeline en charge à 6 km de la mer. La montée en pression cause la rupture de la conduite et la fuite de 340 m² de pétrole se répand. Une petite partie rejoint la baie de Corpus Christi par le réseau hydrologique local.

Plusieurs sociétés spécialisées sont mobilisées pour procéder au pompage du produit (95 m³ récupérés après une semaine) et au nettoyage des terrains contaminés.

**No 6277 - 05/11/94
13 - BERRE-L'ETANG***23.2 - Raffinage de pétrole*

Le toit flottant d'un bac de stockage de 15.000 c de platformat (coupe voisine de l'essence) sombre pour une raison indéterminée. Le coulage est détecté le 5/11 à 21h40. Malgré l'épandage de mousse réalisé afin de prévenir un incendie, la foudre provoque l'inflammation du produit le 7/11 vers 21h45 lors d'un violent orage, après que la couche de mousse ait été affaiblie par les précipitations abondantes. L'incendie est maîtrisé en 40 minutes par les moyens d'intervention internes de l'établissement. Le volume d'hydrocarbures détruit dans l'incendie est estimé à 400 m³, et 25.000 l d'émulseurs sont consommés.

No 8552 - 08/03/95 BAHAMAS-GRAND BAHAMA*23.2 - Raffinage de pétrole*

La foudre tombe sur un réservoir contenant 65 000 m³ de gasoil. Un incendie se déclare. Une fumée épaisse se dégage. Le port et le personnel de la raffinerie sont mis en alerte. Des résidents sont évacués. L'incendie est maîtrisé le 10 mars à 18h. Les dégâts matériels sont estimés à 35 MF. Les dommages causés à l'environnement ainsi que les personnes disparues ne sont pas encore connus.

NO 12221 - 26/04/95 THAILANDE – BANGKOK*23.2 - Raffinage de pétrole*

Un réservoir contenant 90 000 m³ de brut frappé par la foudre explose. Le feu dure plusieurs jours. Les dégâts s'élèvent à 75 MF.

No 7295 - 06/08/95 50 – MARIGNY*29.2 - Fabrication de machines d'usage général*

A la suite d'un coup de foudre, un incendie se déclare dans une entreprise fabricant des extincteurs. 200 m² d'atelier sont détruits. La présence d'un mur en Parpaings permet de préserver les locaux adjacents, magasin et cabine de peinture.

No 8390 - 22/08/95 ALBANIE – KUCOVE

La foudre tombe sur un réservoir contenant de l'huile et provoque un gros incendie. Les pompiers sont mobilisés et luttent. Le lendemain alors que l'incendie semble sous contrôle, un deuxième réservoir, contenant 1 000 tonnes de pétrole brut, explose. L'accident provoque la formation de nuages noirs et épais, visibles à 25 km. Un périmètre de sécurité est mis en place le deuxième jour à 1 km à la ronde. Le bilan est de 3 réservoirs détruits et 1660 tonnes de pétrole brut détruits. On déplore 1 mort et 4 blessés. Les pompiers ont maîtrisé le sinistre en 36 h.

No 7545 - 05/10/95 26-MERCUROL*60.3 - Transports par conduites*

Un impact de foudre perce un trou de 6 mm² sur un gazoduc traversant un verger et alimentant la commune de Tain L'Hermitage et enflamme la fuite. Cette canalisation de 100 mm de diamètre, de 3,6 mm d'épaisseur et de 10 km de long transporte du gaz naturel sous 58 bars, elle est enterrée à 1,2 m de profondeur. Le parafoudre et l'armoire électrique du poste proche sont détériorés. Une réparation provisoire (pose d'un manchon) est achevée 8 h plus tard.

No 7663 -28/10/95 79-SAINT-VARENT*01.2 – Elevage*

La foudre tombe sur un hangar de 84 m de long et d'une surface de 1 000 m². Le bâtiment est détruit en moins de 2 min et les 8 400 dindes qu'il abritait, périssent carbonisées. La perte commerciale est estimée à 130 KF (10t de viande) et les dommages matériels aux environs de 700 KF.

No 7664 - 29/10/95 79 - SAINT-AUBIN-DU-PLAIN*01.3 - Culture et élevage associés*

Un incendie dû à la foudre détruit un hangar de 500 m² abritent du matériel agricole. Les pompiers interviennent durant 6h00 et évitent une extension du sinistre à un élevage de volailles situé à proximité et à une citerne de gaz proche.

**No 8543 - 01/11/95 ETATS UNIS –
BAYTOWN**

01.3 - Culture et élevage associés

Le toit d'un réservoir fixe de gasoil est atteint par la foudre vers 12h. Il est perforé en deux endroits. Un incendie se produit. Deux écoles sont évacuées.

**No 9996 - 22/04/96 78 - MANTES-LA-
JOLIE**

24.3 - Fabrication de peintures et vernis

Un violent incendie initié par la foudre se déclare dans une usine spécialisée dans la fabrication de peinture pour l'industrie automobile. Un atelier d'une superficie de 300 m² contenant les stocks de peinture, solvants vernis et résines est détruit. Atisé par un vent violent, le feu se propage à une entreprise voisine.

No 8909 - 18/05/96 7 – ANDIRAN

*15.6 - Travail des grains ; fabrication
de produits amylacés*

La foudre éventre la cuve d'un transformateur contenant 315 kg d'askarel (PCB) implanté dans un moulin. Le produit se déverse dans le bac de rétention. Une société spécialisée procède à sa récupération.

**No 8885 - 18/05/96 76 –
LILLEBONNE**

24.1 - Industrie chimique de base

Durant un violent orage, lors du changement d'équipe, une explosion survient dans une unité de synthèse de *glyoxal*. Elle est suivie de 2 autres explosions et d'un incendie qui détruisent l'unité. Un réservoir de 50 m³ est projeté à 200 m. Le POI est déclenché et 60 pompiers interviennent en utilisant beaucoup d'eau. Les eaux d'extinction se déversent en partie dans la rivière. Des sources radioactives sont prises dans le sinistre mais les contrôles de radioactivité restent négatifs. Des NOx sont émis. Il n'y a pas de blessé. Le coût de l'accident s'élève à 170 MF. La production est arrêtée pendant 2 semaines. Une expertise met en évidence une défaillance de l'alimentation électrique de secours.

**No 11 233 - 04/06/96 ETATS UNIS -
TEXAS CITY**

23 2 - Raffinage de pétrole

Pendant un orage, un incendie détruit un réservoir de MTBE dans une raffinerie. Les pompiers parviennent à éviter l'extension du sinistre aux réservoirs voisins.

No 9865 - 20/06/96 CANADA – SARNIA*24.1 - Industrie chimique de base*

Un bac de 8 200 m³ d'additif d'essence s'enflamme vers 1h00. Les pompiers mettent 7 h pour éteindre le feu dont les flammes montent jusqu'à 30 m. Des équipes interviennent tout le week-end pour vidanger le bac dont le toit a été expulsé et dont la partie supérieure est très endommagée. Les réservoirs avoisinants sont arrosés de mousse pendant toutes les opérations de secours. Les vents violents gênent l'action des pompiers. Trois cent personnes sont évacuées. La foudre est à l'origine de l'incendie.

No 9664 - 02/08/96 33 - Le HAILLAN*35.3 - Construction aéronautique et spatiale*

La foudre tombe sur un paratonnerre protégeant un bâtiment d'assemblage de Lanceurs et d'engins spatiaux. L'équipement est détérioré ainsi que le système de protection contre l'incendie. Une fuite de halon s'en suit. Les propulseurs sont mis en sécurité et l'atelier évacué et ventilé. Les intervenants susceptibles d'avoir respiré du halon sont examinés et aucune affection n'est détectée. La reprise des activités dans cet atelier est subordonnée à la remise en état des systèmes de protection. Le système d'inertage a été affecté par des courants de foudre en retour qui ont créé un signal semblable au signal d'activation (signal résultant de l'activation de 2 détecteurs d'incendie), A l'avenir, les circuits électriques seront protégés par des parafoudres.

No 10074 - 17/11/96 - FOS-SUR-MER*24.1 - Industrie chimique de base*

A 3h45 sur un site chimique, une fuite d'isobutane se produit sur la bride d'un capteur de température, au sommet d'une colonne d'absorption de faible diamètre. Un feu initié par la foudre se déclare. Le dard formé atteint plusieurs mètres de long. L'usine est arrêtée et le POI est déclenché. Malgré un refroidissement important de la zone concernée (1 500 m³/h d'eau), l'incendie est alimenté durant 5h30 par le gaz sous pression. Il est éteint à 9h45. La dépressurisation de la colonne s'achève à 3h40 et la fin d'alerte est donnée à 14h50. L'intervention a permis d'écartier le risque d'explosion des capacités surchauffées contenant du gaz. Les équipements périphériques ne sont pas endommagés. il n'y a ni victime, ni dommage sur l'environnement.

No 11599 -12/01/97 ETATS UNIS – WILMINGTON*23.2 - Raffinage de pétrole*

Un incendie se déclare dans une raffinerie. Les pompiers de la ville interviennent car le pompage de l'eau dans la raffinerie est défaillant. Le feu s'éteint de lui-même en 5 h, grâce à la fermeture des arrivées de produits et à la décompression. La foudre pourrait être à l'origine du sinistre.

No 11614 - 12/05/97 ETATS UNIS - CORPUS CHRISTI*23.2 - Raffinage de pétrole*

Un incendie probablement initié par la foudre survient sur le réservoir du dépropaniseur d'une unité d'alkylation d'une raffinerie. Le sinistre est maîtrisé en 1 heure. Il n'y a pas de blessé. Les riverains sont invités à se confiner. La raffinerie est fermée temporairement.

No 12143 - 09/06/97 CHATEL-SUR-MOSELLE*01.3 - Culture et élevage associés*

A la suite d'un violent orage, un feu se déclare dans un corps de ferme. L'origine de cet incendie peut provenir de la foudre entraînant un court-circuit. Une automobile, des fourrages et une grande partie de la toiture sont détruits. La brigade territoriale ouvre une enquête.

No 10169 - 11/06/97 93 – BOBIGNY*37.1 - Récupération de matières métalliques recyclables*

Dans un établissement récupérant des matières métalliques recyclables, un feu se déclare sur un tas de 20 m³ de tournures et de limaille d'acier. Des travaux de soudures et une rafale de vent seraient à l'origine du sinistre. L'accident s'étant produit par temps orageux et en présence d'éclairs extrêmement violents, l'exploitant envisage quant à lui un possible impact de foudre (phénomène qualifié de rarissime). L'inflammation de ces déchets normalement incombustibles est peut-être liée à la présence de traces d'huiles solubles. Aucune matière inflammable n'étant stockée à proximité,

le feu est rapidement circonscrit par les pompiers ; un véhicule de tourisme garé à proximité est cependant détruit.

No 11 590 - 15/07/97 ETATS UNIS - DEER PARK*24.1 - Industrie chimique de base*

Dans une usine chimique, la foudre frappe un réservoir vidé de son contenu - additif pour essence - pour maintenance et initie un incendie. De grandes quantités de fumée sont émises et la grande route voisine est fermée. Le feu est éteint avec de la mousse et de l'eau.

No 11561 - 06/08/97 - La MADELEINE*24.1 - Industrie chimique de base*

Sur un site chimique, une explosion détruit en partie un éjecteur-laveur et une conduite de transfert de gaz résiduels (vapeurs de toluène, NO_x, CO₂, O₂) associés à une unité de synthèse de dinitrotoluène. L'unité est arrêtée en urgence. Il n'y a ni victime, ni dommage sur l'environnement. L'explosion est due à la formation d'un mélange gazeux inflammable et, par temps orageux, à une accumulation d'électricité statique dans le réseau d'évents réalisé en matières plastiques. L'inertage à l'azote des conduites durant les phases transitoires d'arrêt et de démarrage de l'unité est renforcé. Pour supprimer l'électricité statique, le réseau d'évents est reconstruit avec des matériaux plastiques conducteurs (riches en carbone).

No 13049 -10/05/98 EGYPTE - RAS GHARIS*23.2 - Raffinage de pétrole*

Lors d'un orage, la foudre frappe l'un des 15 réservoirs de pétrole brut de 2 000 t d'un dépôt et initie un incendie. Le sinistre gagne 2 autres réservoirs. Les pompiers utilisent des hélicoptères pour combattre l'incendie.

No 12948 - 2705/98 30 – NIMES*51.6 - Commerce de gros d'équipements industriels*

Un feu a lieu vers 18h45 dans un entrepôt de matériel électrique de 4 200 m² non compartimenté et sans exutoires de fumée. Les 5 employés encore présents, aveuglés par la fumée, quittent les lieux à 4 pattes. Une pluie violente rabat au sol la fumée irritante, les pompiers interviennent en ARI. D'importants moyens sont mobilisés. Le feu gagne par brutales inflammations successives les stockages palettisés. Le flux thermique brûle des conifères pourtant détremés à plusieurs mètres de la façade. L'intervention dure 3 h 30, un pompier est légèrement intoxiqué. Les dommages s'élèvent à 13 MF pour le bâtiment à reconstruire et à 17 MF pour la marchandise perdue. La foudre serait à l'origine du sinistre (362 impacts locaux en 12 h).

No 13942 - 14/08/98 ETATS UNIS – PERRY*60.3 - Transports par conduites*

Dans une station de compression de gaz naturel, la foudre est probablement à l'origine d'un incendie qui a initié plusieurs explosions. Une boule de feu se forme à plus de 100 m de hauteur. Cinq personnes dont plusieurs pompiers sont blessées et une demi-douzaine de maisons sont endommagées. Les habitants sont évacués dans un rayon de 3,5 km. Les 3 gazoducs alimentant toute la Floride doivent être coupés, entraînant l'arrêt ou la réduction d'activité de nombreuses entreprises.

No 14352 - 14/11/98 46-BONNEE*52.1 - Commerce de détail en magasin non spécialisé*

Un incendie détruit un supermarché de 2 000 m² à une heure de grande affluence. Les fumées intoxiquent une quinzaine de personnes. En raison des risques d'explosions dus à la présence de 2 citernes de propane, les habitants des pavillons voisins sont évacués et la circulation est déviée. La foudre est à l'origine du sinistre.

No 15689 25/06/99 17 La ROCHELLE

20. 1 - Sciage, rabotage, imprégnation du bois

Dans une scierie, un feu initié par la foudre se déclare dans un silo à sciures et se propage au bâtiment de sciage / rabotage par les conduits d'évacuation de sciure. Le bâtiment à structure métallique, avec larnellé-collé et bardage en bois est détruit. Le reste de l'établissement et notamment l'installation de traitement du bois n'est pas atteint. Six employés sont en chômage technique. L'établissement ne disposait d'aucune protection contre la foudre contrairement aux dispositions prévues dans son arrêté d'autorisation.

No 17923 - 10/06/00 68-LOGELBACH

17.2 – Tissage

Un incendie dû probablement à la foudre se déclare sur le toit du bâtiment de production des établissements SAIC Velcorex. Le contremaître et les ouvriers présents sur place donnent immédiatement l'alerte et appellent les secours. Le sinistre ne fait aucun blessé mais une dizaine de métiers à tisser sont touchés. La production est interrompue pendant 3 jours.

Annexe 2 :
Arrêté du 28 janvier 1993

**L'arrêté du 28 janvier 1993 concernant la protection contre la foudre
de certaines installations classées
(JO du 26 février 1993)**

Article 1er

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.

Article 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 Etat 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, tour, 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.

Article 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.

Article 4

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

Article 5

Les dispositions du présent arrêté sont applicables à toute nouvelle installation visée à l'article 1er 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.

Article 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 1er, 2, 3 et 4 du présent arrêté avant l'expiration du délai de six ans ci-dessus.

Article 7

Le directeur de la prévention des pollutions et des risques est chargé de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au Journal Officiel de la République Française.

Annexe 3 :

Circulaire n° 93-17 du 28 janvier 1993

**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 1er 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 NFC 17-100

3.1. Etude 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 des 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. Evaluation 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. Paratonnerres

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 1er 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'Etat 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 : 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. Rubriques concernant certaines activités agro-alimentaires ou relatives au traitement des déchets animaux

- (001) Abattage des animaux.
- (058) Animaux et être vivants : sous-rubrique 1 à 10.
- (077) Betteraves.
- (084) Boyauderies.
- (145) Cidreries.
- (114 bis) Chairs, cadavres.
- (144) Chrysalides.
- (145) Cidreries.
- (150) Cocons.
- (154) Cornes, sabots et onglons.
- (156) Corps gras.
- (157) Corps gras.
- (158) Corps gras.
- (174) Eaux grasses.
- (177) Echaudoirs.
- (201) Fromages.
- (202) Fruits et légumes.
- (204) Fumiers.
- (219) Graisses et suifs en branches.

- (220) Graisses et suifs non alimentaires.
- (244) Lard, charcuteries, viandes.
- (247) Lies de vin.
- (266 bis) Marcs de fruits.
- (316) Oeufs.
- (325) Os.
- (326) Os, cuirs, cornes.
- (351) Poissons (farines).
- (352) Poissons frais, crustacés.
- (353) Poissons salés, saurés, séchés.
- (365) Rouissage du chanvre, du lin, et autres plantes textiles.
- (367) Salaisons.
- (369) Salins de betteraves.
- (371) Sang.
- (372) Sang.
- (373) Sang non desséché.
- (380) Soies de porc et crins.
- (387 bis) Suifs bruts.
- (394) Teillage du lin, chanvre et autres plantes textiles.
- (400) Triperies.

2. Rubriques concernant certaines activités relatives aux cuirs et peaux

- (115) Chamoiseries.
- (159) Corroieries.
- (224) Hongroieries.
- (274) Mégisseries.
- (331) Parchemineries.
- (334) Peaux (apprêtage).
- (336) Peaux (pélanage).
- (337) Peaux et poils.
- (338) Peaux fraîches.
- (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.

(047 ter) Amiante.

(089 bis) Broyage, concassage.

(089 ter) Broyage, concassage.

(125) Chaux, plâtres, pouzzolanes.

(146) Ciments.

(183 bis) Enrobage au bitume de matériaux routiers.

(358) Produits céramiques et réfractaires.

Annexe 4 :

Circulaire du 28 octobre 1996

Circulaire du 28 octobre 1996 concernant l'application de l'arrêté du 28 janvier 1993 relatif à la protection de certaines installations classées contre les effets de la foudre et la modification de sa circulaire n° 93-17 du 28 janvier 1993

1) Installations visées à l'article 1er de l'arrêté à l'exception de celles visés par l'article 1er 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 NFC 17100 pour les installations à risques, il est nécessaire de faire appel à d'autres normes en vigueur dans un Etat 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 NFC 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 source radioactive 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 montage des paratonnerres à source radioactive, 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 (Voir la norme NFC 17102).

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 NFC 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 (NFC 15 100 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).

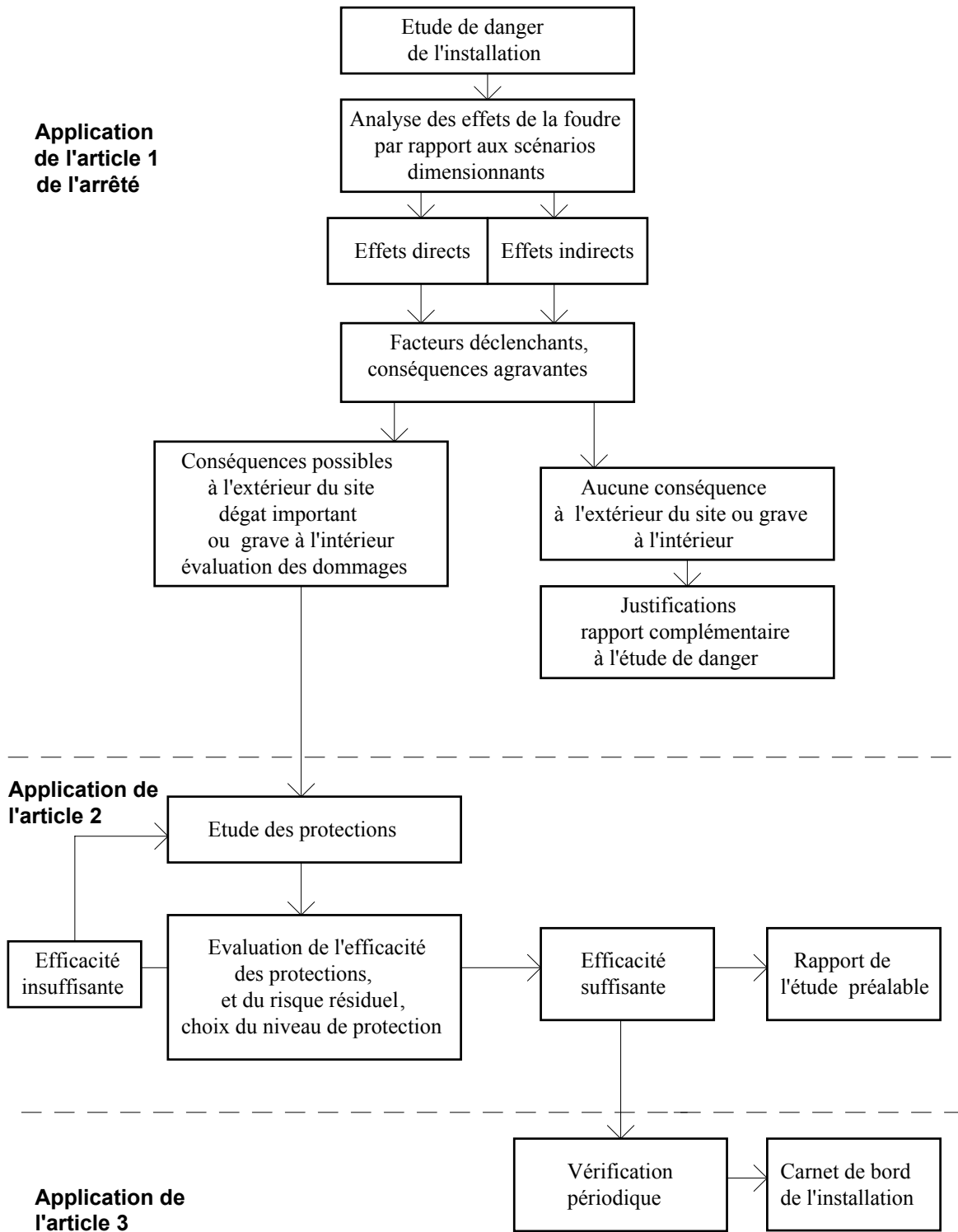
L'étude de protection dépend de nombreux paramètres et en particulier :

- 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, télécommunication);
- 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 que leurs valeurs intrinsèques. De même la pérennité des équipotentialités devra être surveillée.

Annexe A : Déroulement de l'étude préalable



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) Etude préalable de la nécessité ou non d'assurer une protection contre les effets de la foudre (application de l'article 1 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 déclenchants.

Si l'étude de dangers n'existe pas, dans le cas d'installations anciennes notamment, cette analyse doit être réalisée de façon exhaustive (voir paragraphe 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'impact 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 Evaluation 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 NFC 17 102. Les effets directs sont sources de risques ou suivant le rapport technique CEI 1662 et 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.

3) Etude 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 le 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 protection 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 méthode 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

A. Normes françaises

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

Ce document décrit la 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 foudroiement.

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 : Règle (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 1000 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 la terre.

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

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 kW et 33 kW 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 kW et 63 kW.

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 : Général principes - November 1992

Cette norme est la version allemande de la norme CEI 1024-1 :1990 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 (secretariat)44, devenu depuis la norme CEI 1312-1 : Protection contre l'impulsion électromagnétique généré par la foudre - Partie 1 : Principes généraux.

Norme Belge NBC 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 figure dans ces normes des recommandations pour des bâtiments spéciaux (munitions. réservoirs,...)

Norme Belge NBC 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 18 100 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 des établissements des équipotentielles sont également décrits

ENV 61024 1 : Protection of structure 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 risque 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

C 1) 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 le dispositif de capture, sur l'utilisation des composants naturels comme dispositif 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 parties : 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 si 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 ; Evaluation 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.

FAA AC 20 53 A, Protection of airplane fuel systems against fuel vapour ignition due to lightning (1985) and user's manuel

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

C2) Projets de normes européennes

ENV 50164-1 : Composants de protection contre la foudre - Prescriptions pour les composants de connexion. (Octobre 1983)

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 : November 1994

CEI 81/64/CD : IEC 1312-3 : Protection against lightning Electromagnetic Impulse. Part 3 : Requierements of surge protective devices : November 1994

CEI 81/65/CD : IEC 1312-4 : Protection against lightning Electromagnetic Impulse. Part 4 : Application Guide for protection against LEMP for existing structures : November 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 valeurs 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 "Complément 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 n° 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 Edition 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

