Protection des unités industrielles contre les effets de la foudre

Stanislas Halama

▶ **To cite this version:**

Stanislas Halama. Protection des unités industrielles contre les effets de la foudre. Séminaire Eurofo-rum "Sécurité & Stockages" 1997, Oct 1997, Paris, France. ineris-00972123

HAL Id: ineris-00972123
https://ineris.hal.science/ineris-00972123

Submitted on 3 Apr 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Protection des unités industrielles contre les effets de la foudre

Stanislas Halama
INERIS

La foudre est un phènomène physique qui effraie et fascine et, dans le passé, elle a été associée à la colère des dieux. Ce n'est qu'au 18ème siècle que l'on peut dater les débuts de la connaissance scientifique de la foudre. Les travaux effectués par FRANKLIN, NOLLET et DALIBART ont montré la nature électrique de la foudre en particulier grâce aux expériences du cerf-volant et de la tige de Marly [1].

Aujourd'hui de grands laboratoires et organismes de recherche disposent de moyens de mesure adéquats et d'observations photographiques pour comprendre la phénoménologie de l'électricité atmospérique. Nous pouvons citer :

- les installations de EDF comme le laboratoire d'essais à haute tension aux Renardières et la Station de déclenchement artificiel de la foudre à St Privat de l'Allier,

- les recherches de l'ONERA concernant l'activité électrique intra-nuage et la visualisation de la formation des décharges dans les nuages,

- les recherches du CNET concernant la protection vis-à-vis des surtensions dans les lignes et les centraux téléphoniques,

- les recherches du CNRS concernant la formation des météores dans les nuages orageux, leur électrisation et les décharges qui s'y produisent.

I - L'orage

Par temps calme, il existe un champ électrique de 100 volts/m environ à la surface du sol et la valeur de ce champ décroit pour s'annuler à une altitude de 50 km. Par ailleurs, la température de l'atmosphère terrestre décroit dans la troposphère jusqu'à -50 °C environ à une altitude de 10 km puis augmente de nouveau de -50 °C à 0 °C du fait de l'échauffement de l'ozone de la stratosphère par le rayonnement U.V.

Localement, pour diverses raisons, l'air s'échauffe au niveau du sol, s'humidifie, se dilate et forme une bulle plus légère que l'air environnant. Cette bulle, selon le principe d'Archimède, monte tout en grossissant. Pendant la montée, la vapeur d'eau se condense pour former de petites gouttelettes qui restent suspendues entre terre et ciel et cette bulle se transforme en nuage.

La condensation libère une certaine chaleur qui vient encore réchauffer le nuage en formation et le propulse vers le haut, jusqu'à une hauteur de 15 à 20 km de la terre. Là le nuage, devenu volumineux, pénètre dans une zone de l'atmosphère où la température augmente avec l'altitude. Dans cette zone, l'air ambiant est aussi chaud que le nuage. Son ascension s'arrête et le nuage s'étend horizontalement sous la barrière de la tropopause, d'où son allure d'enclume. A l'intérieur du nuage existe de nombreuses particules : cristaux microscopiques de glace, des petites fleurs de flocons de neige, des particules de grésil, des amorces de grêle. Du fait entre autre des courants ascendants, toutes ces particules entrent en collision, s'entrechoquent et échangent des charges électriques. Certaines particules perdent des électrons et deviennent des charges positives. D'autres gagnent des électrons et deviennent des charges négatives. Les plus grosses particules, entrainées par leur masse, migrent vers le bas du nuage.

Il s'avère que dans nos régions, le cumulo-nimbus typique est chargé positivement en haut et négativement en bas. Le nuage ressemble à un condensateur électrique difforme de 10 km de haut suspendu dans le ciel avec deux pôles très chargés qui sont séparés par un milieu plus ou moins isolant dans lequel des décharges internes apparaissent : les éclairs intranuages. Ces éclairs intranuages, peu visibles du sol, représentent 80 à 90 % de l'activité électrique du nuage. En général, dix minutes environ après le début de cette activité électrique, la foudre s'abat sur le sol.

II - La foudre

Cette activité intranuage a des conséquences sur la surface terrestre. Les charges négatives à la base du nuage attirent fortement les charges positives du sol qui remontent à la surface. Il s'établit un champ électrique entre le sol et le nuage. Par convention, on considère que le champ est positif lorsqu'il est orienté de l'atmosphère vers le sol. Au cours de la formation du nuage orageux, le champ électrique au sol s'inverse (cas des charges négatives à la base du nuage) et prend au droit du nuage des valeurs négatives pouvant atteindre -20 kV/m. On n'observe pas d'intensités de champs supérieures car les conditions de déclenchement de la foudre sont alors dépassées. En effet la présence d'obstacles sur le sol déforme et augmente localement le champ électrique d'un facteur 10 à 100 ou même 1000 selon la forme des aspérités (phénomène appelé "effet de pointe"). Le seuil d'ionisation de l'air peut alors être atteint, soit environ 30 kV/cm et des décharges par effet couronne se produisent.

La première phase d'un coup de foudre descendant est une précharge faiblement lumineuse ou traceur qui se propage du nuage vers le sol par bonds de quelques dizaines de mètres.
Le traceur est un canal ionisé comportant un excédent de charges négatives ou positives et une forte concentration de charges à sa pointe qui augmente encore le champ électrique environnant. Lorsque le traceur se rapproche du sol, à quelques centaines de mètres environ, le champ électrique dans la zone située à la verticale de cette concentration de charges s'accroît considérablement et peut atteindre des valeurs de l'ordre de 100 à 300 kV/m. A ce moment des décharges ascendantes positives ou négatives se développent du sol en direction du traceur. L'une des décharges ascendantes, la plus proche ou la plus rapide, entre en contact avec le traceur, le canal ionisé devient continu du sol au nuage et la décharge principale a lieu : on l'appelle l'arc en retour et il peut y avoir plusieurs décharges consécutives dans le même

canal ionisé. Les coups de foudre sont classés selon le sens de développement du traceur et selon leur polarité :

- coup de foudre descendant : développement du traceur à partir du nuage
- coup de foudre ascendant : développement du traceur à partir du sol
- coup de foudre négatif : décharge d'un nuage chargé négativement
- coup de foudre positif : décharge d'un nuage chargé positivement.

Dans nos régions tempérées 90 % des coups de foudre sont négatifs et en général descendants. Les coups de foudre ascendants sont couramment issus de structures élevées et de sommet de montagne et ils sont en général de polarité positive.

III - Caractéristiques électriques de la foudre

L'arc en retour transporte la quasi totalité de l'énergie. Les variations du courant de décharge en fonction du temps sont très variées mais présentent une allure commune qui peut être décrite en trois phases :

- une croissance très rapide du courant,
- le passage à une valeur maximale : le courant crête,
- une décroissance plus ou moins rapide.

La première impulsion, dont le temps de montée est compris entre 5 et 20 µs et le temps de descente de l'ordre de 100 µs, est suivie d'impulsions régulières et plus rapides d'amplitudes crêtes inférieures à celle de la première décharge, voir tableau I [1].

Paramètre	Unité	Probabilité		
Amplitude		95 %	50 %	5 %
Premier coup (mini. 2 kA)	kA	7	33	85
Coup subséqu.		4,6	12	2
Coup positif		4,6	35	250
Raideur max.				
Premier coup	kA/µs	9,1	24	65
Coup subséqu.		10	40	162
Coup positif		0,2	2,4	32
Energie spécifique				
Premier coup	A^2S	$6{,}0.10^3$	$5{,}5.10^4$	$5{,}5.10^5$
Coup subséqu.		$5{,}5.10^2$	$6{,}0.10^3$	$5{,}2.10^4$
Coup positif		$2{,}5.10^4$	$6{,}5.10^5$	$1{,}5.10^7$
Charge totale				
Déch. négative	C	1,3	7,5	40
Déch. positive		20	80	350
Durée totale				
Déch. négative (maxi.3000)	ms	0,15	13	1100
Déch. positive		14	85	500

Tableau I : paramètres statistiques du coup de foudre

IV - Protection des bâtiments et zones ouvertes

La première mesure de protection vis-à-vis de la foudre qui semble évidente est de lui fournir un chemin préférentiel, facile, peu résistant, qu'elle empruntera dès qu'elle le localisera. En effet, le traceur jusqu'à une altitude de 200 à 300 mètres du sol "ne connaît pas" son point d'impact. Un système de protection foudre (SPF) peut aider le courant de foudre à trouver le chemin de la terre. Le but d'un SPF est donc de capter l'éclair, de canaliser le courant et de l'écouler au mieux à la terre.

Le SPF peut être un paratonnerre à tige simple qui est constitué d'une pointe captrice effilée en cuivre chromé ou en acier inoxydable d'une longueur de 2 mètres environ. Cette pointe se présente comme un demi -ellipsoïde très effilé qui produit une augmentation très importante du champ électrique local avec un facteur $k = \frac{D}{d}$ pouvant être supérieur à 100. Cet accroissement du champ local va produire des effluves (feux de Saint Elme) qui peuvent favoriser la création d'une décharge ascendante lorsqu'un traceur descendant s'approche dans le volume de captation de la pointe. La jonction entre la décharge ascendante et le traceur descendant se fait à l'instant où le champ au sol atteint la valeur critique de 500 kV/m [1].

Le champ électrique au sol sous le traceur descendant est fonction à la fois de la quantité de charges réparties le long du canal ionisé et de la distance qui sépare sa pointe du sol. Plus la quantité de charges est importante, plus la distance d'influence du traceur au sol est grande.

Une expression analytique de la distance d'amorçage entre un traceur descendant et un objet au sol pour laquelle une décharge ascendante rencontre le traceur descendant a été établie : $D = 10.I^{2/3}$ avec D en mètre et I en kilo ampères [2]. Cette distance est fonction du courant de l'intensité crête du courant présumé de foudre.

Tout se passe comme si la pointe du traceur était entourée d'une sphère fictive de rayon D, centrée sur elle et que la sphère accompagnait la pointe du traceur au cours de sa trajectoire. A l'approche du sol, le premier objet qui touche la sphère détermine le point d'impact du coup de foudre.

Le point d'impact peut donc être la pointe de la tige du paratonnerre ou le sol à une distance égale ou supérieure à $Ox = H\,[(2D/H - 1)]^{1/2}$ en considérant la hauteur H du paratonnerre et la distance d'amorçage D [3]. Nous pouvons déduire la zone de protection et le paraboloïde de capture d'une tige de hauteur H. Lorsque la hauteur H du paratonnerre à tige simple est de 30 m, le rayon de protection R = Ox qui est fonction du courant crête présumé de la foudre est, tableau II :

IkA	2	3	7	10	30	80
R(m)	15	20	35	43	70	100

Tableau II : rayon de protection d'une tige simple de hauteur 30 m.

V - Les effets de la foudre

Les effets de la foudre sur l'environnement sont nombreux. Nous pouvons retenir :

- les effets directs : impact sur une structure, une personne ou une ligne de réseau
- les effets indirects : impact à proximité conduisant à des remontées de terre et à des surtensions sur les lignes par induction.

Par effets directs en France :

- 20 à 30 personnes sont foudroyées chaque année, en particulier en zone rurale,
- 10 000 têtes de bétail sont foudroyées en particulier par la tension de pas,
- des explosions de matières sensibles peuvent être amorcées,
- 250 clochers sont décapités.

Par effets indirects :

- 17 000 incendies sont initiés dont le quart dans les Landes
- 60 % des surtensions sont produites sur les lignes aériennes conduisant à la destruction de circuits électroniques, à un fonctionnement dégradé de machines, de process, en particulier 50 000 compteurs électriques sont détruits chaque année.

Par ailleurs, les avions en vol sont foudroyés une à deux fois par an sans que cela se termine par un accident. L'avion se comporte comme tout conducteur métallique plongé dans un champ électrique et le courant de l'éclair se répartit sur la carlingue. Seuls les points d'entrée et de sortie peuvent présenter des points d'impacts avec quelques dommages éventuels.

V.1. Montée en potentiel d'un bâtiment

Supposons que l'ossature métallique d'un bâtiment est bien reliée à une prise de terre dont la résistance non-inductive est de 5 ohms. Pendant un impact de foudre de courant moyen de 30 kA, les structures métalliques du bâtiment vont atteindre un potentiel au moins égal à $U = RI = 5.30 = 150$ kV. Les lignes d'énergie et de télécommunications qui pénètrent dans le bâtiment vont être soumises à une surtension de 150 kV si elles ne disposent pas d'écrêteurs de tension adaptés à des courants de choc de foudre. Cette surtension pourra également être transmise aux installations industrielles voisines par les lignes.

V.2. Gradient de potentiel dans le sol

La terre proprement dite n'est hélas pas équipotentielle et la d.d.p. entre le voisinage d'un impact de foudre et un point éloigné est considérable.

Considérons qu'un hémisphère conducteur de rayon r dans un sol de résistivité ρ a une résistance $R = \rho / 2\pi.r$ par rapport à l'infini. Si l'on néglige l'effet pelliculaire, les lignes de courant d'un choc de foudre se diluent dans un sol de résistivité homogène selon les rayons d'un hémisphère. Avec ces hypothèses, la montée en potentiel du sol par rapport à l'infini suit une loi hyperbolique [4].

La différence de potentiel par rapport à l'infini d'un point au voisinage de l'impact d'un choc de foudre vaut sensiblement :

$$U = 0{,}2\ I\ \rho / r$$

avec :

U : d.d.p. entre le point mesuré et l'infini, en volts.

I : Courant de foudre, en ampères.

ρ : Résistivité moyenne du sol, en ohm-mètre.

r : Distance entre l'impact et le point mesuré, en mètres.

Supposons qu'un animal, dont la distance entre les pattes avant et arrière est de 1 m, broute à 100 m du point d'impact d'un choc de la foudre de 30 kA sur un terrain dont la résistivité du sol est de 1 000 Ω.m environ.

Les pattes avant distantes de 100 m de l'impact montent à un potentiel de :

$$U_{100} = 0{,}2\ .\ 30\ 000\ x\ 1\ 000/100 = 60\ 000 \text{ volts}$$

Les pattes arrières distantes de 101 m de l'impact montent à un potentiel de :

$$U_{101} = 0{,}2\ .\ 30\ 000\ x\ 1\ 000/101 = 59\ 406 \text{ volts}$$

L'animal va subir une d.d.p de 600 volts environ entre les pattes avant et arrière, ce qui peut l'électrocuter.

De même, tout matériel électrique peut être soumis à une telle valeur de surtension. Cette valeur peut encore être beaucoup plus élevée lorsque des canalisations métalliques proches de l'impact la transmettent sans atténuation vers le réseau électrique de l'installation.

V.3. Impact sur une ligne aérienne

Lorsque l'impact de foudre se produit sur une ligne aérienne, le courant de foudre se divise de part et d'autre du point d'impact et se dirige vers les pylônes où il se produit un amorçage au niveau des isolateurs. Supposons que la résistance de terre du pylône soit de 20 ohms, et que le courant de foudre soit de 30 kA, la surtension produite par la moitié de ce courant en ne prenant pas en compte les effets de self induction est de $U = RI = 20\ .\ 15\ .\ 10^3 = 300$ kV. Aucun isolateur des lignes moyennes et basses tensions ne peut résister à cette surtension et c'est cette valeur de tension au moins qui sera conduite par la ligne à l'installation industrielle la plus proche.

V.4. Amorçage interne entre masses peu équipotentielles

Prenons le cas d'un paratonnerre qui est raccordé à la terre par un conducteur de descente de longueur 10 m fixé à un mur et séparé des masses internes du bâtiment qui sont reliées en étoile à la barrette de terre commune au conducteur de descente [4].

Considérons une montée moyenne du courant de foudre de 40 kA/μs et une valeur d'inductance linéique d'environ 1 μH/m.

La d.d.p entre le conducteur de descente et la masse vaut : $U = L\ dI/dt = 400$ kV. L'amorçage à travers le mur est probable.

Les conducteurs internes du bâtiment peuvent être actifs (luminaires, circuits divers...) et ils seront après amorçage soumis à une surtension de 400 kV par rapport à leurs circuits de masse.

V.5. Les surtensions induites ou rayonnées

Le champ rayonné par la foudre est de forte amplitude, assez rapidement variable (dans la gamme des ondes longues) et à prédominance magnétique. L'antenne qui rayonne le champ de la foudre est le canal ionisé. On peut assimiler ce canal ionisé à un conducteur rectiligne sensiblement vertical et de longueur de 2 à 3 km. Le champ H, en ampères par mètre, suit le théorème d'Ampère : $H = I / 2\pi R$ et il est essentiellement horizontal.

La tension induite dans une boucle de masse verticale par ce champ magnétique suit la loi de Lenz :

$U = S\ \mu_0\ dH/dt$, soit en combinant ces deux équations :

$U = 200.S.dI/R.dt$ avec :

U : Tension crête induite dans la boucle, en volts.

S : Surface de la boucle, en mètres carrés.

dI/dt : Pente maximale du courant de foudre, en kilo ampères par microseconde.

R : Distance entre l'impact et le point mesuré, en mètres.

μ_0 : Perméabilité magnétique, $\mu_0 \# 1{,}26.10^{-6}$ Henry par mètre.

Prenons l'exemple de l'induction dans les boucles de masse, entre deux baies raccordées en étoile à la terre [4].

Un câble de réseau local galvaniquement isolé relie deux baies. Elles sont raccordées chacune à la terre par un conducteur relié en étoile à une prise de terre. La surface de la boucle de masse entre les conducteurs de protection et le câble signal est de 300 m2. La d.p.p en mode commun sur la liaison signal, induite par un choc de foudre de

dI/dt = 100 kA/µs tombant à 400 m de la boucle est de :

U = 200 x 300 x 100/400 = 15 kV

VI - Les systèmes d'alerte foudre

L'activité électrique des nuages orageux, les éclairs intranuages et les éclairs au sol (foudre) génèrent des ondes électromagnétiques qui peuvent brouiller la réception radio par temps d'orage. Le spectre électromagnétique produit par un orage comprend principalement deux zones de fréquences [1]:

- la partie de 1 kHz à 1 MHz est générée par la foudre,
- la partie supérieure à 100 MHz est générée par l'effet de couronne et les microdécharges dans le nuage.

Le canal ionisé de la foudre est une antenne de 2 à 3 km parcourue par des impulsions de courant très élevées.

Comme les variations de champ électrique au sol, les ondes électromagnétiques sont détectées par les systèmes d'alerte foudre.

Le système d'alerte peut être local et la détection de l'orage s'effectue par des capteurs appelés moulins à champ qui sont sensibles à l'augmentation du champ électrique sur le site à protéger. Le système d'alerte peut être régional comme le système d'alerte SAFIR [5] qui détecte l'activité électrique des nuages d'orage à l'aide de capteurs de localisation interférométrique sensibles au rayonnement haute fréquence (100 MHz). Trois stations de localisation distantes de 100 km environ permettent de suivre avec une bonne précision le développement d'un orage bien avant le premier coup de foudre.

Le système Météorage est le plus connu et il couvre la France et quelques pays limitrophes grâce à 17 stations distantes de 200 à 300 km environ. Il détecte les impacts au sol et permet de connaître la localisation de l'éclair, la polarisation, l'amplitude du courant et le nombre d'arcs. Les informations sont accessibles par le minitel.

VII - Les surtensions

On peut admettre qu'environ 50 % des courants de foudre se diffuseront dans les réseaux sous forme d'arcs aux endroits dont la rigidité diélectrique est la plus faible si des dispositifs capables de réaliser un cheminement privilégié de ces courants se sont pas installés.

Sans ces dispositifs de protection, les amorçages ont lieu dans les appareils électriques et électroniques où l'on trouve les plus faibles distances entre conducteurs et masse.

Pour définir ces cheminements, il faut installer convenablement les dispositifs de protection selon un concept de zones à niveau de protection variable et modulable [6].

En dehors de la structure externe type cage de Faraday, on se trouve dans la zone dite ZPF0 où l'on est susceptible de voir apparaître des coups de foudre directs. Lorsque l'on pénètre dans la zone à l'intérieur de la cage, on passe dans la zone dite ZPF1 dans laquelle on ne peut plus voir de chocs directs.

Au passage des câbles électriques, de quelque nature qu'ils soient, de la zone ZPF0 à la zone ZPF1, il faut impérativement installer des dispositifs capables d'écouler de forts courants vers la terre. La zone ZPF1 de protection foudre comporte des éléments qui ne sont pas soumis à des coups de foudre directs et où les courants dans les éléments contenus dans cette zone sont en outre plus faibles que les courants dans la zone ZPF0. Dans cette zone, le champ électromagnétique peut être atténué en fonction des mesures de blindage.

Si une réduction supplémentaire des courants conduits par les lignes et/ou du champ électromagnétique est requise lorsque l'appareillage à protéger est trop sensible aux perturbations électriques, des zones supplémentaires peuvent être créées : ZPF2 et ainsi de

suite. A la limite des différentes zones, la liaison d'équipotentialité de toutes les pénétrations métalliques doit être prévue et des mesures de protection peuvent être mises en place.

En général les dispositifs de protection vis-à-vis des surtensions dues à la foudre sont placés en parallèle entre les conducteurs actifs et le circuit de terre. Ils sont appelés parafoudres et ils sont destinés à limiter les surtensions transitoires et à dériver les ondes de courant. Ils contiennent au moins un composant non linéaire et ils doivent être conformes à la norme NFC 61-740.

Les branchements des parafoudres doivent se faire sur les lignes aériennes et sur toutes les fonctions entrants dans l'installation [7].

VIII - La prévention

Un système de protection foudre externe peut ne pas être suffisant pour assurer une protection foudre d'une installation industrielle classée et il faut imaginer et appliquer d'autres dispositions pour éviter une inflammation ou une explosion déclenchée par la foudre.
Une approche plus globale devient nécessaire pour réussir à assurer la protection foudre d'une installation classée [8].
De la protection passive apportée par le SPF, il faudra envisager de passer à la protection active en prenant en compte l'approche d'un orage, tous les services entrants et sortants du site industriel, et bien souvent la réaction du processus industriel vis-à-vis des perturbations provoquées par la foudre sur le site ou à l'extérieur du site.
L'étude de la protection foudre devra être faite en conciliant différentes approches qui peuvent s'articuler autour de quatre axes:

- alerte foudre: mise en veille du site
  - différer certaines séquences sensibles
  - décaler le réseau prioritaire sur le groupe de secours

- protection des bâtiments et zones ouvertes
  - -paratonnerres
  - -cages maillées - fils tendus

- protection des réseaux extérieurs
  - coupures brèves du réseau EDF
  - lignes aériennes/souterraines

- protection des réseaux intérieurs
  - séparation alimentations puissance/commande
  - implantation des réseaux: boucles.

IX - La normalisation

Le comité 81 de la Commission Electrotechnique Internationale (C.E.I.) a pour mission d'élaborer des normes de protection contre la foudre. La C.E.I. a déjà publié les normes :

- CEI-1024-1 (1990) : protection des structures contre la foudre ; principes généraux
- CEI-1024-1-1 (1993) section 1, guide A : choix des niveaux de protection pour les installations de protection contre la foudre.
- CEI-1662: l'évaluation des risques de dommages liés à la foudre.
- CEI-1312: protection contre l'impulsion électromagnétique générée par la foudre-partie 1: principes généraux

D'autres projets sont en cours d'élaboration au comité 81 et ils concernent :

- le guide B : conception, installation, maintenance et inspection des installations de protection contre la foudre
- CEI-1312- parties 2 à 4.

Au niveau européen, le CENELEC a publié la prénorme européenne ENV 61024-1 qui reprend les prescriptions des normes CEI 1024-1 et 1024-1-1.

Les travaux de normalisation sont suivis sur le plan français à l'U.T.E par la commission UTE/CEF 81- Protection contre la foudre. Ce comité regroupe des experts, des constructeurs de matériel de protection foudre, des utilisateurs et des correspondants mandatés par les ministères.

La commission UTE/CEF 81 est à l'origine de la NFC 17 100 - février 1987 : Protection contre la foudre ; installations de paratonnerres ; règles. La norme NFC 17 100 décrit les principales dispositions destinées à assurer la protection des bâtiments contre les coups de foudre directs.

Le principe de la protection des bâtiments est basé sur le modèle électrogéométrique qui permet de définir le volume de protection assuré par le système de protection foudre.
La prénorme européenne ENV 61024-1 est en cours d'acceptation comme norme française et remplacera la norme NFC 17 100 de février 1987.

La commission UTE/CEF 81 a également fait publier la norme : NFC 17 102 concernant la protection des structures et des zones ouvertes contre la foudre par paratonnerre à disposition d'amorçage. Le dispositif d'amorçage qui est placé sur une tige de paratonnerre permet d'étendre l'aire de protection apportée par la simple tige dite de Franklin, limitant ainsi le nombre de paratonnerres classiques à installer sur un site industriel.

D'autres travaux normatifs sont en cours et de nouvelles normes seront disponibles pour aider les différents intervenants à choisir le système de protection foudre le plus performant compte tenu des critères dégagés par l'étude de sécurité du site industriel.

X - La réglementation

Le ministère de l'Environnement a émis en date du 28 janvier 1993 un arrêté concernant la protection contre la foudre de certaines installations classées et une circulaire n°92-17, non publiée dans le journal officiel, qui précise les modalités d'application de l'arrêté.

Un groupe de travail animé par le Service de l'Environnement Industriel du ministère de l'Environnement est à l'origine de la deuxième circulaire en date du 28 octobre 1996 qui complète les modalités d'application de l'arrêté.

Nous rappelons qu'une installation est "classée" du fait des dangers ou inconvénients qu'elle provoque, elle a été inscrite sur une liste appelée "nomenclature". La liste comprend environ 400 catégories d'activités principales. Cette nomenclature soumet les catégories d'installations à autorisation ou à déclaration suivant la gravité des dangers ou inconvénients qu'elles présentent. Il existe près de 500 000 installations classées dont 50000 soumises à autorisation. L'arrêté du 28 janvier 1993 est accompagné d'une circulaire qui définit en annexe 1 la liste des rubriques de la nomenclature des installations classées non visées à l'article 1 de l'arrêté sauf avis contraire de l'inspecteur des installations classées.

L'arrêté prescrit entre autre l'application de la norme française NFC 17 100 de février 1987 qui stipule dans le paragraphe 2.1.3 que toute installation de protection contre la foudre doit faire l'objet d'une étude préalable, et le déroulement de l'étude préalable est défini en annexe A de la circulaire du 28 octobre 1996.

Ces agressions concernent les effets directs de la foudre :

- sur les produits manipulés, créés, stockés ou rejetés par l'installation (par exemple : l'inflammation de rejets de solvants dans l'atmosphère, percement d'une canalisation sous pression).
- sur les structures de l'installation (effet électrodynamique, montée en potentiel)
- sur tous les circuits électriques accessibles de l'extérieur qui peuvent assurer le passage du courant de foudre à l'intérieur du bâtiment.

Ces agressions concernent également les effets indirects de la foudre sur tous les types de circuits électriques et sur les produits sensibles aux étincelles et aux échauffements, qui peuvent être mis en situation explosive.

Cette étude préalable doit donc mettre en évidence les effets possibles directs et indirects sur les produits et le fonctionnement de l'installation classée. Elle inclut la description du système de protection foudre destiné à exclure les effets possibles des agressions foudre décrits précédemment . Les dispositifs de protection foudre doivent être conformes à la norme NFC 17-100 de février 1987 ou à toute autre norme en vigueur dans un état membre de la Communauté Européenne et présentant des garanties de sécurité équivalentes. La liste des normes et référentiels utilisables est indiquée en annexe C de la circulaire du 28 octobre 1996. Lorsque l'étude préalable montre que les agressions de la foudre ne conduisent pas à des conséquences agravantes à l'extérieur ou à des dégats importants ou graves à l'intérieur de l'installation, l'étude préalable constitue une justification du non-besoin de protection foudre de l'installation industrielle. Dans le cas contraire, l'étude de la mise en place des protections

doit être effectuée et l'efficacité des protections doit être démontrée. En particulier le SPF ne doit pas réduire ou annuler des protections vis-à-vis d'autres risques.

La détermination du volume de protection des bâtiments et zones ouvertes doit être effectuée à l'aide du modèle électrogéométrique lorsque les contours des bâtiments et zones ouvertes ne sont pas géométriquement simples.

L'arrêté s'applique sur l'ensemble du territoire pour toute installation nouvelle et existante n'ayant pas de système de protection foudre. Les installations existantes comportant déjà une protection foudre devront également être reconnues conformes aux dispositions de l'arrêté.

Le délai d'application de l'arrêté aux installations existantes est de 6 ans, jusqu'au 28.01.1999 et un calendrier doit être établi en commençant par les installations affectées de la lettre S, puis les nouvelles installations.
Ls systèmes de protection foudre doivent être contrôlés tous les cinq ans ou après modifications.

XI - La protection foudre des installations à risque

En général, l'étude préalable d'une installation classée comprenant des emplacements à risque d'explosion conclura à la mise en oeuvre de protection vis-à-vis de la foudre. Toutefois le système de protection foudre devra être choisi judicieusement pour ne pas augmenter, par les effets de pointe ou autres, la probabilité d'impact sur l'installation.

Par ailleurs les effets indirects tels que les étincelles possibles sur le chemin ou à proximité de l'écoulement du courant de foudre devront être exclus.

En ce qui concerne la zone 0 [9] qui est la région dans laquelle une atmosphère explosive est présente en permanence ou pendant de longues durées, il est préférable que les parois de ces emplacements à risque d'explosion ne soient pas accessibles aux impacts directs de la foudre. En conséquence ces emplacements doivent se situer à l'intérieur des infrastructures accessibles par la foudre [10].

Le canal de foudre et le point de connexion foudre sur une structure ou un système de protection foudre étant à température très élevée doivent être exclus de la zone 1 [9] où l'atmosphère explosive peut se produire occasionnellement en fonctionnement normal du process. En conséquence, le système de protection foudre (SPF) devra être placé à l'extérieur du volume délimité par la zone 1 [10].

Le volume de la zone 1 pour les gaz est en général défini pour le choix des matériels électriques destinés à être placés dans cette zone pour le fonctionnement du process. De manière à éviter d'avoir différents types de matériel dans une unité où se trouvent des emplacements à risque d'explosion, le chef d'établissement définit des volumes à protéger parfois importants pour assurer au mieux la sécurité vis-à-vis du risque permanent apporté par le matériel électrique. Il est probable que pour la protection vis-à-vis de la foudre où le risque est à faible occurrence, le volume de la zone 1 considérée puisse être réduit au volume réel,

obtenu par l'évaluation [9]. Toutefois la définition des emplacements à risque d'explosion est de la compétence du chef d'établissement et des DRIRE (Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement) et une réduction du volume de la zone 1 vis-à-vis du risque foudre devra être justifiée.

Par ailleurs la zone 1 est souvent déterminée par des opérations particulières telles que les mouvements de produits inflammables, (remplissage, purge, évacuation, transport...) auxquelles il est possible de surseoir à l'approche d'un orage en mettant l'installation en veille et/ou en l'isolant des réseaux extérieurs. De telles mesures préventives sur le process peuvent réduire les emplacements à risque d'explosion et être parfois le seul moyen pour éviter une explosion.

Comme dans la zone 2 [9] l'atmosphère explosive ne peut être présente qu'en fonctionnement anormal de l'installation et que la durée de présence éventuelle est faible, le SPF peut être installé dans cette zone 2 qui entoure la zone 1 et/ou la zone 0. Toutefois si le dispositif de capture de la foudre comporte des circuits électriques destinés à favoriser la capture, il devra répondre à la réglementation des matériels électriques utilisables en atmosphères explosibles, en particulier lorsqu'une source d'alimentation est présente constamment [10].

Une structure métallique importante et bien reliée au réseau de terre ou un système de protection foudre adéquat peut donc envelopper un emplacement à risque d'explosion défini par une zone 0 et/ou 1.

Comme une partie du courant de foudre va se disperser dans toutes les structures métalliques de l'installation et que des potentiels importants peuvent se produire entre parties métalliques voisines isolées volontairement ou involontairement, des dispositions doivent être prises pour exclure toutes possibilités d'étincelles dans les zones 0 et 1 de l'installation.

Les composants naturels ou ajoutés pour favoriser l'écoulement des courants de foudre et leur dispersion dans le sol devront être conformes aux normes en vigueur définis dans l'arrêté du 28 janvier 1993 et l'équipotentialité des masses et des terres devra être réalisée et vérifiée.

En effet, l'installation d'un système de protection foudre externe, bien que nécessaire, peut être encore insuffisante pour exclure toutes sources d'inflammation secondaires, liées au passage du courant de foudre dans les structures de l'installation et à l'influence de l'élévation en potentiel de la structure sur le contenu lui-même.

Ce qui importe est la protection du contenu de l'installation industrielle et rarement la protection des infrastructures elles-mêmes sauf si elles ont une incidence directe sur le contenu.

En conséquence, l'étude préalable de la protection foudre d'une installation classée devra tenir compte surtout du contenu de l'installation, des diverses opérations qui agissent sur ce contenu : transport, manipulation, production, conditionnement, stockage, et des réseaux pénétrant dans l'installation susceptibles d'induire des effets secondaires des courants de foudre.

XII - Bibliographie

[1] C. GARY - La foudre - Des mythologies antiques à la recherche moderne - Masson - juin 1994.

[2] A. ROUSSEAU - C. GARY - G. BERGER - Foudre et protection des bâtiments - C 3307 - Techniques de l'ingénieur.

[3] E. ERB - S. HALAMA - Rapport scientifique et technique RST 03 - Protection des installations industrielles contre les effets de la foudre - mai 1995.

[4] A. CHARROY - Parasites et perturbations des électroniques - tome 4 : alimentation, foudre et remèdes - DUNOD TECH (1992) - IBSN 2-10-001442-0 - compatibilité électromagnétique.

[5] P. RICHARD (société DIMENSIONS): Projet SAFIR de surveillance de la région Rhône Alpes - Réunion sur les risques majeurs liés à la foudre du 27-09-1990 - CRAM Rhône Alpes.

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

[7] A. SCHMITT et T. DEFLANDRE - Qualité de l'alimentation électrique - Guide de désensibilisation aux surtensions en milieu industriel et tertiaire - Mars 1994 - EDF Industrie.

[8] R. CANTIN - Approche globale du phénomène foudre - CRAM Rhône Alpes - Réunion sur les risques majeurs industriels liés à la foudre le 27.09.1990 - C.N.E.S.S.S. Saint-Etienne.

[9] Norme CEI 79-10 - 3ème édition - 1995-12 - Matériel électrique pour atmosphères explosives gazeuses. Partie 10 : Classement des régions dangereuses.

[10] S. HALAMA - Foudre et atmosphères explosives - 2ème symposium international "Foudre et Montagne" - Chamonix, 2-4 juin 1997 - p 169-177.