

ANNEXE 12 : ETUDE Foudre

SONECОВI
MERCIN & VAUX (02)

**STATION DE LAVAGE
DE CITERNES ROUTIERES & CONTAINERS**

ETUDE Foudre ET PROTECTION REQUISE

Réf. Affaire : 07-071
Version : Janvier 2008

PERICHIMIE

Environnement

Bureau d'études – Ingénierie – Dépollution

40, rue Maurice Berteaux

78130 LES MUREAUX

Tel : +33 (0)1 30 99 02 98 – Fax : +33 (0)1 30 99 84 84

e-mail : marc.vauthier@perichimie.fr

SYNTHESE

L'étude foudre a pour objet de définir les niveaux de protection requis vis à vis de ce risque pour les projets d'installations soumises à la réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement (arrêté du 28 janvier 1993).

Le projet SONECOVI de MERCIN & VAUX est inclus dans un bâtiment de 3 150 m² et 10 mètres de haut, relativement isolé.

Le bâtiment est compact, d'un seul tenant flanqué de poteaux d'éclairage de hauteur 15 mètres sans autres superstructures aériennes en hauteur.

L'emprise est éloignée de toutes lignes EDF haute tension et alimentée par des liaisons HT/BT enterrées.

L'établissement du niveau de protection requis a été établi par la mise en application de la procédure préconisée par l'INERIS. Elle débouche sur les conclusions suivantes :

Protection requise :

- **Pour les effets directs : Néant**
- **Pour les effets indirects : Parafoudres « peu utile » ; sauf pour le matériel informatique où un dispositif est « conseillé ».**

Fait aux Mureaux, le 12 septembre 2008

Marc VAUTHIER

METHODE ET BIBLIOGRAPHIE

La présente étude met en application une méthode proposée par l'INERIS (référence ci-dessous) elle intègre également des données issues des fournisseurs spécialisés qui ont bien voulu mettre une documentation à notre disposition (Sté Indélec). Elle se conforme aux textes, notamment aux dispositions de l'arrêté du 28 janvier 1993 relatif à la protection des sites classés, et aux circulaires rattachées.

Bibliographie :

Normes françaises

- NFC 17 102 : Protection contre la foudre - Protection des structures et des zones ouvertes contre la foudre par paratonnerre à dispositif d'amorçage (juillet 1995),
- NFC 17 100 : Protection des structures contre la foudre (décembre 1997),
- NFC 15 100 : Installation électrique basse tension (décembre 1997).

Normes européennes et internationales

- CEI¹ 1662 : Evaluation des risques de dommages liés à la foudre (janvier 1995), pré-norme européenne applicable dès sa parution.

Documents officiels

- Arrêté du 28 janvier 1993 : concernant la protection contre la foudre de certaines installations classées,
- Circulaire du 28 janvier 1993 pour l'application de l'arrêté du 28 janvier 1993,
- Circulaire du 28 octobre 1996 pour l'application de l'arrêté du 28 janvier 1993.

Documents ayant statut de normes

- Guide UIC² : Recommandations pour la protection des installations industrielles contre les effets de la foudre et des surtensions (juin 1991),
- Guide UIC : Complément au cahier technique de juin 1991 (octobre 1993),
- Guide UTE³ C 15 443 : Protection contre les surtensions d'origine atmosphérique (juillet 1996).

Documents généraux

- Le risque foudre et les installations classées pour la protection de l'environnement / Méthodes pour l'évaluation et la prévention des risques accidentels (DRA-006), Septembre 2001, INERIS, Direction des Risques Accidentels, p. 66
- La foudre / Des mythologies antiques à la recherche moderne, 1994, Claude GARY, Ed. MASSON, p. 208

¹ CEI : Commission Electrotechnique Internationale

² UIC : Union des Industries Chimiques

³ UTE : Union Technique de l'Electricité

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	5
2. LA Foudre	5
2.1. Définition	5
2.2. Les nuages orageux.....	5
2.3. Les phénomènes précurseurs	6
2.4. Types de coup de foudre.....	6
2.5. Point d'impact.....	7
2.6. Caractéristiques électriques de la foudre.....	8
2.7. Les effets de la foudre sur les installations	9
3. DONNEES DE BASE CONCERNANT LE PROJET.....	10
3.1. Situation géographique	10
3.2. Activité de l'établissement	10
3.3. Analyse du risque foudre par rapport aux dangers	10
3.4. Description des bâtiments	10
3.5. Inventaire de l'existant.....	10
4. EVALUATION DES PROTECTIONS NECESSAIRES	11
4.1. Protection contre les effets directs	11
4.2. Protection contre les effets indirects	18

1. INTRODUCTION

La présente étude concerne un bâtiment industriel abritant notamment une station de lavage de citernes routières situé sur le territoire de la commune de Mercin & Vaux.

Cette station de lavage est soumise à autorisation au titre de la réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement et à ce titre concerné par l'arrêté ministériel du 28 janvier 1993 relatif à la protection contre la foudre des sites classés.

L'objet est d'établir les niveaux de protection requis vis-à-vis des effets directs et indirects de la foudre. Ils sont exprimés :

- Pour les effets directs : par une valeur variant de I à IV, le niveau I définissant un fort besoin de protection et le niveau IV un faible besoin (l'échelle est dégressive)
- Pour les effets indirects : par une préconisation exprimée en terme d'utilité : peu ou très conseillé.

les moyens de protections correspondants sont : pour les effets directs la pose de paratonnerres et de lignes de dispersions et pour les effets indirects la pose de parafoudres.

2. LA Foudre

2.1. Définition

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 « éclair » désigne l'ensemble des manifestations lumineuses provoquées par les décharges électriques d'origine atmosphérique. Le « tonnerre » est le bruit induit par la décharge électrique entre 2 nuages ou entre le nuage et le sol ou à l'intérieur d'un même nuage.

La foudre est une des manifestations des orages, perturbations atmosphériques violentes, accompagnée de rafales de vents, d'averses de pluie et de grêle. La naissance des épisodes orageux est généralement liée à une grande instabilité atmosphérique (différences importantes de température entre l'air au niveau du sol et en altitude).

2.2. Les nuages orageux

Les nuages orageux sont d'énormes masses, généralement du type cumulo-nimbus (forme « d'enclume » caractéristique), occupant une surface de plusieurs dizaines de kilomètres carrés, ayant une épaisseur de plusieurs kilomètres, et dont le sommet peut atteindre 15 000 m. Ils sont constitués de gouttes d'eau à leur partie inférieure, de particules de glace à leur partie supérieure. Leur formation est due à l'apparition de courants atmosphériques ascendants dont la vitesse peut dépasser 20 m/s.

On distingue :

- les orages de convection ou orages isolés qui naissent de l'effet combiné de l'humidité et du réchauffement local du sol. Il se forme alors une bulle d'air chaud et humide, qui

PERICHIMIE

Environnement

Bureau d'études - Ingénierie - Dépollution

s'élève pratiquement isolée thermiquement de l'air environnant. Cette bulle formera un nuage orageux aux altitudes où la condensation commence. C'est l'orage de chaleur, souvent très localisé, dont la durée n'excède pas 90 min.

- les orages frontaux qui naissent de la rencontre de masses d'air de température et d'humidité différentes. Cette rencontre produit également des courants ascendants accompagnés de condensation. Les fronts orageux ainsi formés peuvent durer plusieurs jours et s'étendre sur des milliers de kilomètres.

Parallèlement à ces phénomènes thermodynamiques, il se produit une séparation des charges électriques au sein des nuages. Ce processus a fait l'objet de plusieurs théories mais reste encore inexpliqué. Il en résulte toutefois que la partie supérieure des nuages orageux est chargée positivement tandis que leur base est chargée négativement.

2.3. Les phénomènes précurseurs

Les nuages orageux constituent de vastes dipôle, créant des champs électriques entre les différentes couches intérieures, de même qu'entre leur base et la surface de la terre. Sur un terrain plat et par beau temps, le champ électrique est de l'ordre de 100 à 150 V/m, ce champ est dû à des charges positives situées à des altitudes de l'ordre de 50 km. Au moment de la formation ou de l'approche d'un nuage orageux, sous l'influence des charges négatives disposées à sa base, le champ électrique au sol commence à s'inverser dans de fortes proportions. Lorsque sa valeur atteint -10 à -15 kV/m, la décharge au sol est imminente.

Le signe négatif qui affecte la valeur du champ résulte de la convention de sens choisie : le champ est négatif lorsque les charges électriques atmosphériques sont négatives.

2.4. Types de coup de foudre

La première phase d'un coup de foudre est toujours la formation d'une pré-décharge peu lumineuse, appelée traceur (ou « leader »), qui progresse à travers l'air neutre à une vitesse relativement faible. Cette pré-décharge prend son origine soit dans le nuage où elle progresse en direction du sol, soit au niveau du sol elle progresse alors vers le nuage.

Dans les 2 cas, le canal ainsi tracé, quoique faiblement ionisé, formerait entre le sol et le nuage un « pont » suffisamment conducteur pour préparer la voie à un courant intense qui sera le coup de foudre proprement dit.

On classe les coups de foudre selon :

- le sens de développement du traceur : ascendant ou descendant (ces derniers étant majoritaires)
- le sens d'écoulement du courant principal : négatif (lorsque la partie négative d'un nuage se décharge : dans 90 % des cas dans les climats tempérés) ou positif (lorsque c'est la partie positive).

On distingue ainsi :

le coup de foudre « ascendant » : il est caractérisé par une arborescence ouverte vers le haut et s'observe fréquemment sur les tours et les pylônes élevées. A partir d'une certaine taille de

l'aspérité, entraînant une certaine intensité d'effluve⁴, celle-ci se transforme en une décharge ascendante, qui se développe suffisamment loin pour atteindre le nuage. Les reliefs du sol et notamment des montagnes isolées favorisent la formation de coups ascendants.

Les coups de foudre ascendants positifs sont majoritaires ; les négatifs restent très rares.

Le coup de foudre « descendant négatif » : le traceur prend naissance dans les masses chargées négativement du nuage et progresse en direction du sol par bonds successifs (stepped-leader). Dès que la pointe d'un traceur s'approche du sol les effluves, généralement issues d'une aspérité (édifice, arbre, tour...) se transforment en traceurs ascendants. Lorsque les 2 canaux se rejoignent, il s'établit un court-circuit entre le nuage et le sol qui va permettre ainsi le passage d'un courant de forte intensité. Ce courant est en fait constitué par les charges superficielles du sol, induites par les charges du nuage, et qui, remontant le canal ionisé formé par les traceurs, neutralisent les charges de ces derniers. On observe à ce moment un trait fortement lumineux qui progresse depuis le sol jusqu'au nuage : c'est l'arc en retour.

Le coup de foudre « descendant positif » : dans le cas du traceur positif, le processus de bonds n'existe pas systématiquement et la progression se fait le plus souvent de façon continue.

2.5. Point d'impact

La foudre peut tomber directement sur le sol, les structures et les lignes de transport d'électricité. Dans tous les cas, les conséquences néfastes résultent de la propagation par conduction et/ou par rayonnement.

Les points d'impact du coup de foudre ne semblent se déterminer que dans la partie inférieure de la trajectoire (à une altitude de environ 300 mètres).

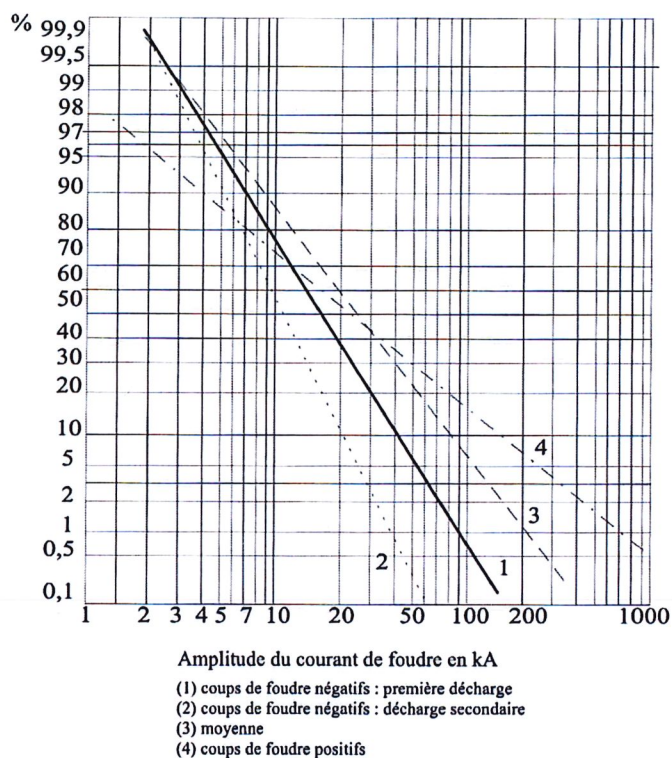
Les facteurs locaux ont une incidence sur la localisation de l'impact : arbres, édifices, cheminées, cours d'eau, nature du sol... Et c'est précisément de ces incidences que résultent la possibilité de mettre en place des paratonnerres.

⁴ **Effluve** : effet d'avalanches électroniques qui se manifestent visuellement par des filaments bleu-violet pouvant atteindre une longueur de plusieurs dizaines de centimètres et auditivement par des crépitements

2.6. Caractéristiques électriques de la foudre

L'intensité des coups de foudre peut se situer entre 1 et 1 000 kA. Leur probabilité et leur distribution selon leur nature est rapportée dans l'abaque *ci-contre* qui résulte de la compilation d'un ensemble de données mondiales.

On lit en abscisses l'intensité du coup de foudre exprimé en kA (logarithme) et en ordonnées la probabilité pour un coup de foudre de dépasser une intensité donnée.



2.7. Les effets de la foudre sur les installations

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

On observe :

- des **effets thermiques** (effet Joule) : ils sont à l'origine de la fusion des conducteurs, de leur éclatement si leur nature est de type bois ou béton (vaporisation de l'eau contenue dans le matériau). En présence de produits inflammables, ils peuvent déclencher un incendie par conduction de chaleur ou par rayonnement thermique.
- des **effets dus aux amorçages** : ils correspondent à la montée en potentiel des prises de terre et à des tensions dangereuses dues à l'impédance élevée des conducteurs haute fréquence. L'amorçage ou 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. Ces différences de potentiel peuvent occasionner des destructions d'équipements électroniques et électriques ainsi que des claquages (étincelles) entre les descentes de paratonnerres et des objets métalliques proches reliés au sol, créant ainsi un risque d'inflammation significatif.
- des **effets électromagnétiques** : le canal de foudre ainsi que les éléments écoulant le courant de foudre génèrent un champ électromagnétique avec apparition de courants et de tensions induits. Les différences de potentiel en résultant peuvent à leur tour entraîner des claquages dans les éléments électriques ou électroniques reliés à ces conducteurs. Par ailleurs, certains équipements sensibles aux perturbations électromagnétiques peuvent être perturbés ou détruits par le champ créé par un éclair proche. On peut ainsi observer : 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. Enfin l'action cumulée et répétée de surtensions ou de surintensités peut conduire à un vieillissement prématuré de certains composants électriques.
- des **effets électrodynamiques** : ils sont générés dès lors qu'un courant fort circule dans un conducteur se trouvant par ailleurs dans un champ magnétique généré par des courants voisins. Ces effets peuvent être attractifs ou répulsifs suivant la disposition des conducteurs les uns par rapport aux autres. Ils peuvent ainsi conduire à des déformations mécaniques tels que des ruptures ou des arrachages de support.
- des **effets électrochimiques** : ils sont généralement négligeables sur les installations au sol. Une surveillance des prises de terre reste nécessaire du fait des risques de corrosion.
- des **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. Cette surpression et sa disparition brutale, créent une onde de choc qui se propage dans l'atmosphère pouvant ainsi générer de fortes surpressions sur des structures avoisinantes (renversement de panneaux, murs).

- des **effets lumineux** : ils sont limités aux équipements optiques (cellules, caméras). Chez l'homme, des lésions oculaires peuvent apparaître.

3. DONNEES DE BASE CONCERNANT LE PROJET

3.1. Situation géographique

La surface de l'emprise étant de 30 360 m², soit 0,030 km², la probabilité de sinistre par coup de foudre est de l'ordre de 0,054 coups par an, soit un coup de foudre localisé sur l'emprise tous les 18,5 ans.

Le voisinage immédiat est caractérisé par la présence d'autres bâtiments analogues ainsi que d'habitations voisines.

3.2. Activité de l'établissement

Garage ? dépôt et station de lavage de citerne.

3.3. Analyse du risque foudre par rapport aux dangers

Le risque foudre ne peut être à l'origine que d'un incendie.

3.4. Description des bâtiments

Le bâtiment sera constitué d'un bloc de base de 100 x 31,5 mètres et de hauteur 10 mètres situé sur un vaste parking. Il est flanqué de poteaux d'éclairage de hauteur 15 mètres.

3.5. Inventaire de l'existant

La présente étude concerne un bâtiment existant.

Ce projet inclus : un réseau de distribution avec un poste de raccordement électrique, une mise à la terre, un réseau téléphonique.

Les locaux administratifs disposent d'un petit équipement informatique.

4. EVALUATION DES PROTECTIONS NECESSAIRES

Dans le cadre de la foudre, on doit évaluer les niveaux de protection :

- contre les effets directs (impact de la foudre),
- contre les effets indirects (surtensions sur les réseaux électriques).

4.1. Protection contre les effets directs

L'évaluation du risque de foudroiement des différentes installations du site est déterminée selon les prescriptions de la norme NFC 17 100. L'évaluation du risque de foudroiement sur une structure se déroule en 3 étapes :

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

4.1.1. Surface équivalente de captation

La « surface de capture équivalente » A_e d'une installation correspond à la surface susceptible d'être touchée par un coup de foudre et d'en subir les effets directs.

Selon l'architecture de l'installation, A_e est la plus grande des deux valeurs S_1 et S_2 suivantes : S_1 étant définie en fonction de la géométrie des bâtiments et S_2 des superstructures hautes, type cheminées.

S_1 est donnée par : $S_1 = L \cdot l + 6 h_1 \cdot (L + l) + 9 \pi h_1^2$

avec L longueur (m) du bâtiment
 l largeur (m) du bâtiment
 h_1 hauteur (m) du bâtiment

La surface équivalente d'un bâtiment est toujours plus grande que sa superficie. Lorsque deux installations sont suffisamment proches pour que leurs surfaces équivalentes se recouvrent, il faut réduire les valeurs de surfaces calculées. En effet, la foudre ne tombe pas au même moment sur deux installations voisines.

S_2 est donnée par : $S_2 = 9 \pi h_2^2$

avec h_2 hauteur (m) de la cheminée ou de la superstructure haute.

4.1.2. Fréquence attendue de coups de foudre

La fréquence attendue de coup de foudre est établi à partir de :

- la surface de captation A_e calculée précédemment,
- la densité de foudre local N_g ,
- l'environnement proche autour de l'installation C_1 .

Elle est donnée par : $N_d = 2 \cdot N_g \cdot C_1 \cdot A_e \cdot 10^{-6}$

avec N_g densité de foudroiement locale (impact/an/km²)
 A_e surface équivalente de captation (m²)
 C_1 coefficient d'environnement

C_1 est déterminé par la nature de l'environnement :

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

4.1.3. Fréquence acceptée de coups de foudre

La fréquence acceptée des coups de foudre directs sur une installation N_c est calculée à partir de 4 paramètres extraits de la norme NFC 17 100 selon l'équation suivante :

$$N_c = \frac{0,0055}{C2.C3.C4.C5}$$

Les paramètres C2 à C5 visent à évaluer la gravité des dommages associés, ils sont déterminés de manière empirique selon les tableaux d'évaluation ci-dessous :

Coefficient structurel C2

Toiture Structure	métal	standard	combustible
métal	0,5	1	2
standard	1	1	2,5
combustible	2	2,5	3

Contenu de la structure C3

Contenu de la structure	C3
Sans valeur inflammable	0,5
Valeur courante ou normalement inflammable	1
Forte valeur ou particulièrement inflammable	2
Valeur exceptionnelle, irremplaçable ou très inflammables, explosive	3

Occupation de la structure C4

Occupation de la structure	C4
Inoccupée	0,5
Normalement occupée	1
Evacuation difficile ou risque de panique	3

Conséquences d'un foudroiement C5

Conséquences d'un foudroiement	C5
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

PERICHIMIE

Environnement

Bureau d'études - Ingénierie - Dépollution

4.1.4. Détermination du niveau de protection

Deux cas se présentent :

Si $N_c > N_d$: La fréquence acceptée N_c est supérieure à la fréquence attendue N_d , l'efficacité de la protection intrinsèque de la structure est alors jugée suffisante. Aucune protection complémentaire n'est nécessaire pour protéger la structure des coups de foudre directs selon la norme NFC 17 100.

Si $N_c < N_d$: La fréquence acceptée N_c est inférieure à la fréquence attendue N_d , l'installation requiert une protection d'efficacité E , déterminée par :

$$E = 1 - \frac{N_c}{N_d}$$

L'efficacité ainsi calculée permet de déterminer un niveau de protection de la structure vis-à-vis de l'intensité des courants de foudre.

Pour les bâtiments, la norme NFC 17 100 propose une protection par niveau :

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

Il est nécessaire de protéger une structure dès lors que les dégâts ou les conséquences sur l'environnement seraient importants. Or pour des structures très petites type palletier ou réservoir, l'application de la norme NFC 17 100 conduit à considérer la protection comme facultative. Ce constat montre les limites de cette norme.

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 ».

4.1.5. Application au cas de figure du projet

L'application des données ci-dessus au projet permet de dresser le tableau des résultats ci-dessous :

Données	Valeurs
	Bâtiment 1
Longueur	100
Largeur	31,5
Hauteur	10
S1	15 442
Hauteur poteaux éclairage	15
S2	6 362
Comparatif S1 et S2	<u>Ae = 15 442</u>
Coefficient d'environnement C1	1
Fréquence attendue Nd	0,052
Coefficients de structure	
C2	1
C3	0,5
C4	1
C5	1
Nc	0,11 > Nd
E	
Niveau requis	Néant

4.1.6. Analyse des protections existantes

Bâtiment mis à la masse, protection vis à vis des surtensions.

4.1.7. Choix d'une protection

Les normes de la CEI et la norme NFC 17 100 autorisent la prise en compte des infrastructures métalliques de l'installation (charpentes métalliques, échelles, escaliers, ponts, passerelles, mains courantes...). Leur nature et dimension doivent toutefois respecter différentes dispositions de ces normes (liaisons équipotentielles, mises à la masse, etc....)

Les dispositifs de protection externe les plus couramment employés sont rapportés dans le tableau ci-dessous avec indication de leur condition d'application :

	Domaines d'application
Paratonnerre à tige simple	Protection d'installations en hauteur type pylône
Paratonnerre à dispositif d'amorçage	Bâtiment ne nécessitant pas une 'faradisation' supplémentaire Zones de stockage extérieures et zones ouvertes
Fils tendus	Installations type lanceur de fusées
Cage maillée	Existence d'un bâtiment présentant une charpente métallique Bâtiment renfermant du matériel informatique et/ou des outils de production sensibles Bâtiment de stockages à risques

4.1.8. Le modèle électromagnétique

Le modèle électromagnétique est un modèle de prédiction physico-mathématique. Il permet de déterminer les points d'impact les plus probables de la foudre afin de prévoir les dispositifs de protection nécessaires et appropriés.

Ce modèle n'est valable que pour les coups descendants négatifs qui restent de loin les plus fréquents (90 % en moyenne sur le territoire français).

Le modèle électromagnétique définit une distance D , distance d'amorçage en fonction de la valeur de crête du courant de foudre, I , selon la relation :

$$D = 10 \cdot I^{2/3}$$

avec D distance entre le traceur et l'objet au sol (m)
 I valeur de crête du courant de foudre qui va suivre (kA)

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.

PERICHIMIE

Environnement

Bureau d'études - Ingénierie - Dépollution

Les volumes de protection engendrés par les systèmes de protection foudre sont définis par 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, cage maillée, fil tendu) sans jamais pouvoir toucher les objets à protéger, la protection de ceux-ci est alors assurée.

Si la sphère entre en contact avec l'un des objets à protéger, le système de protection doit être modifié.

Le rayon de la sphère augmente avec l'intensité du courant de foudre. Le système qui protège les structures contre des coups de foudre de forte intensité, ne protégera qu'en partie les structures contre des coups de plus faible intensité.

Le choix du rayon de la sphère se fait en fonction du niveau de protection déterminé précédemment. Sa valeur est au minimum de 15 m pour un courant de foudre d'intensité minimale de 2 kA.

4.2. Protection contre les effets indirects

La protection des installations électriques basse tension, BT, contre les surtensions d'origine atmosphérique peut être déterminée en s'appuyant sur le guide pratique UTE C 15-443. 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. Elle prend en compte les paramètres suivants :

- Probabilité de foudroiement local,
- Mode d'apparition des surtensions d'origine atmosphérique,
- Topographie du site,
- Nature et valeur des matériels à protéger,
- Existence éventuelle de surtension de manœuvre,
- Conséquences sur l'environnement.

4.2.1. Evaluation du niveau d'exposition aux surtensions de foudre

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

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

avec Ng densité de foudroiement locale (impact/an/km²)
 L_{BT} longueur de la ligne BT aérienne alimentant l'installation (km)

Structure BT	L_{BT}
Souterraine ou câbles torsadés en façade	0
Longueur de ligne aérienne : 100 à 199 m	0,2
Longueur de ligne aérienne : 200 à 299 m	0,4
Longueur de ligne aérienne : 300 à 399 m	0,6
Longueur de ligne aérienne : 400 à 499 m	0,8
Longueur de ligne aérienne : > 500 m	1

T_{HTA} = 0 si le réseau alimentant le poste HTA/BT est souterrain
 = 1 si le réseau alimentant le poste HTA/BT est aérien ou en majorité aérien

δ prend la valeur maximale résultante des situations rapportées dans le tableau ci-après :

Situation de la ligne aérienne ou du bâtiment	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

4.2.2. Evaluation des conséquences des perturbations

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

$$G = S + M + I + R$$

Avec S = sensibilité du matériel ; M = prix du matériel ; I = coût de l'indisponibilité du matériel ; R = risque pour l'environnement ; **paramètre introduit par l'INERIS** (Le critère d'appréciation est identique à celui du coefficient C5 de la norme NF C 17-100)

Occupation de la structure S

Sensibilité du matériel	S
Tenue élevée aux surtensions (4 kV) : armoires de distribution, disjoncteurs, prises de courant, moteurs, transformateurs	1
Tenue normale aux surtensions (2,5 kV) : appareils électriques divers domestiques, outils portatifs, petit matériel électrique	2
Tenue réduite aux surtensions (1,5 kV) : appareils avec circuits électroniques industriels et domestiques, informatique	3

Prix du matériel M

Prix du matériel	M
Prix faible < 1,5 k€	1
Prix moyen 1,5 k€ < < 15 k€	2
Prix élevé > 15 k€	3

Coût de l'indisponibilité I

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

Conséquence d'un foudroiement R = idem C5 ci-dessus.

PERICHIMIE

Environnement

Bureau d'études - Ingénierie - Dépollution

4.2.3. Evaluation de l'intérêt d'installer des parafoudres

L'intérêt d'installer des protections parafoudres est évalué à partir des paramètres F et G calculés précédemment selon les dispositions illustrées par le tableau *ci-dessous* :

	$F \leq 1$	$1 < F \leq 2$	$2 < F \leq 4$	$F > 4$
$G \geq 13$	Très conseillé	Très conseillé	Très conseillé	Très conseillé
$10 < G < 12$	Conseillé	Conseillé	Très conseillé	Très conseillé
$7 < G < 9$	Peu utile	Conseillé	Conseillé	Très conseillé
$G \leq 6$	Peu utile	Peu utile	Peu utile	Conseillé

Ce 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) dans 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.

La présence de paratonnerres (tige simple ou à dispositif d'amorçage) augmente considérablement le risque de surtensions et implique une protection par parafoudres des installations. Il en est de même pour toute structure dont la hauteur dépasse 120 m (cheminée, poteau, antenne, ...etc).

Dès qu'il y a nécessité de protéger contre les surtensions, un parafoudre en tête d'installation sur le réseau d'énergie est nécessaire.

4.2.4. Application au projet

Etablissement de F : $F = 1,8 \times (1 + 0 + 0 + 0,5) = 2,7$

Etablissement de G : $G = 2 + 1 + 2 + 1 = 6$

4.2.5. Analyse des protections parafoudre existantes

Les caractéristiques du projet aboutissent à l'établissement de $F = 2,7$; une protection parafoudre est donc : « **peu utile** », **sauf pour le matériel informatique où elle reste conseillée (G=7)**.

4.2.6. Choix d'un parafoudre

Une protection de tête d'installation, parafoudre primaire, permet de briser l'onde de foudre venant du réseau EDF, et de supprimer une grande partie de son énergie.

D'autres équipements, jugés particulièrement sensibles, ou pour lesquels la perte de continuité de service serait critique (ascenseurs, systèmes informatiques et téléphoniques) peuvent également être protégés par l'intermédiaire d'un second niveau de protection.

Ce second niveau est réalisé par des parafoudres dont la tension résiduelle, très basse, est adaptée à la sensibilité du matériel à protéger : parafoudres secondaires.

Le guide pratique UTE C 15-443 permet de choisir les parafoudres selon les critères suivants :

- **Uc** tension maximale de régime permanent qui est fonction du régime de neutre du réseau et de U_0 , tension simple du réseau (V)

	Réseaux	Uc
Protections entre conducteurs actifs et terre	IT TT et TN	$U_c \geq 1,732 U_0$ $U_c \geq 1,5 U_0$
Protections entre phase et neutre	Tout type	$U_c \geq 1,1 U_0$

- **Icc** courant de court-circuit admissible : valeur maximale définie par le constructeur qui peut traverser le parafoudre lors d'un défaut sur la charge entre les bornes d'entrée et de sortie. Une valeur I_{cc} courante est de 3 kA.
- **Up** tension au borne du parafoudre lors du passage de I_{max} . Le niveau de protection U_p est un paramètre qui caractérise les performances de protection du parafoudre : les valeurs courantes sont 2,5 kV, 2 kV, 1,8 kV, 1,2 kV et 1 kV pour un réseau de 230/400 V.

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.

La valeur U_p est généralement déterminée selon le type de matériel :

Type de matériel	Valeur de U_p
Electrotechnique : moteurs, machines électriques de forte et moyenne puissance, organes de commande et de coupure	2,5 kV
Electronique peu sensible : équipements bureautiques durcis, machines-outils, commandes numériques et automates	1,8 kV
Electronique sensible : micro- et mini-ordinateurs, centrales d'alarmes, modems, équipements de radiocommunications et télécommandes radio	1,0 kV
Electronique très sensible : équipements médicaux, certaines balances et balances électroniques professionnelles	0,5 kV

- **I_{max}** courant maximal de décharge. C'est la valeur maximale du courant de forme d'onde 8/20 μs 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 différentiel pour le choix de I_{max} qui est fonction du risque F :

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

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

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

4.2.7. Préconisations

En général, lors de la mise en place de protections, il convient d'installer dans un premier temps les protections indirectes (parafoudres). En effet les perturbations induites sont plus fréquentes qu'un impact direct car elles peuvent provenir d'un coup de foudre éloigné du site à protéger.

Avant de définir les moyens de protection les plus adaptés pour obtenir l'efficacité recherchée, il convient d'assurer la prévention ; mise en place de moyens matériels pour maintenir une continuité de service. 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.

A l'approche d'un orage, les dispositions les plus courantes en matière de procédures d'exploitation sont :

- Déconnexions des appareils sensibles,
- Mise en marche d'un groupe électrogène,
- Commutation de l'alimentation par une ligne protégée,
- Interdiction de démarrer une manipulation dangereuse,
- Arrêt des activités à risques en cours (dépotage de réservoirs).

Dans ce contexte, il est possible d'utiliser un dispositif de détection d'orages qui aidera à la prise de décision.