

Comment analyser les besoins de protection contre les effets indirects de la foudre

Dominique Charpentier, Pierre Gruet

▶ **To cite this version:**

Dominique Charpentier, Pierre Gruet. Comment analyser les besoins de protection contre les effets indirects de la foudre. Congrès sur la compatibilité electromagnétique (CEM EXPO 2000), Oct 2000, Paris, France. ineris-00972208

HAL Id: ineris-00972208

https://ineris.hal.science/ineris-00972208

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.

COMMENT ANALYSER LES BESOINS DE PROTECTION CONTRE LES EFFETS INDIRECTS DE LA FOUDRE

RESUME

Nous présentons deux méthodes d'aide à la décision pour déterminer les besoins de protection contre les effets indirects de la foudre. La première s'appuie sur une approche déterministe du type "Analyse des Modes de Défaillances et de leurs Effets", la seconde s'appuie sur le guide UTE C 15-443 ayant une approche probabiliste.

Dominique CHARPENTIER - Pierre GRUET
INERIS
Laboratoire d'Evaluation des Equipements Electriques
B.P. 2 - 60550 VERNEUIL-EN-HALATTE

Tél. : 03 44 55 68 82 - 03 44 55 64 77
Fax : 03 44 55 66 88
Email : dominique.charpentier@ineris.fr - pierre.gruet@ineris.fr

I. INTRODUCTION

L'INERIS effectue de nombreuses études de danger d'Installations Classées pour la Protection de l'Environnement. Il réalise dans ce cadre des études préalable foudre de ces installations selon la méthode décrite dans la circulaire du 28 octobre 1996 relative à l'application de l'arrêté du 28 janvier 1993 concernant la protection contre la foudre.

L'agression indirecte de la foudre est souvent celle qui conduit aux dysfonctionnements les plus imprévisibles, elle est trop souvent négligée dans l'étude de danger de l'installation industrielle. Les sites industriels sont en général alimentés par des lignes aériennes qui augmente la surface apparente du site pouvant être affectée par les effets indirects de la foudre. Le nombre d'impacts en France est de l'ordre de 1 à 3 par km^2 et par an, ainsi toute installation industrielle subit statistiquement plusieurs surtensions par an susceptibles d'endommager les circuits électriques non protégés.

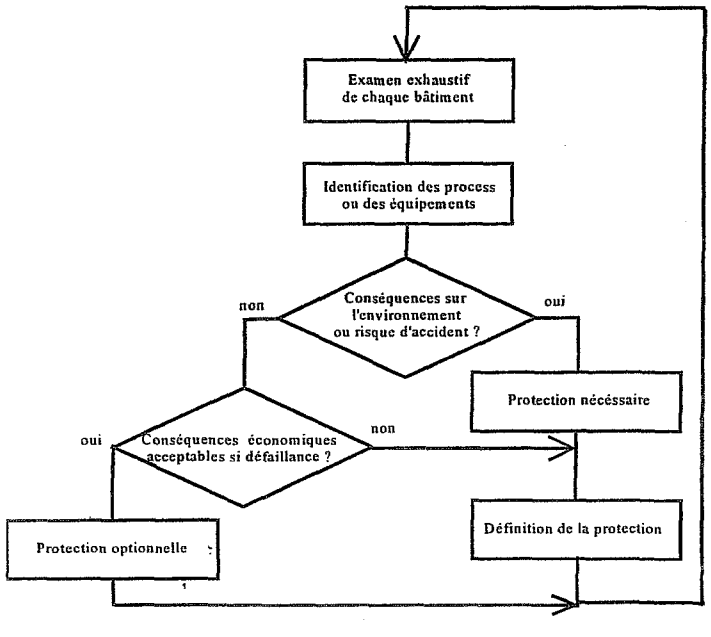
Cet article présente deux méthodes pour déterminer les équipements électriques qu'il faut protéger. La première est une méthode déterministe et s'appuie sur une représentation de type AMDE (Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets), la seconde s'appuie sur le guide UTE C 15-443 dont l'approche est probabiliste. Une application de ces deux méthodes est décrite ensuite. Les principales caractéristiques des parafoudres sont rappelées dans le dernier chapitre.

II. METHODE DETERMINISTE (TYPE AMDE)

II.1 Détermination des équipements sensibles

Le risque de foudroiement local n'est pas pris en compte dans cette méthode déterministe définissant les protections nécessaires. 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 due aux effets indirects de la foudre est réalisée de manière exhaustive pour chaque bâtiment selon l'organigramme suivant :



Pour appliquer efficacement cette méthode, il est souhaitable que les équipements dont la défaillance peut avoir une conséquence sur l'environnement ou être à l'origine d'un accident possèdent une fiche de vie sur laquelle sont indiquées les fonctions à vérifier. 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.

II.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 process ou des équipements électriques à risque ?
- comment réagit l'équipement en cas de panne d'alimentation ?
- comment réagit l'équipement en cas de défaillance ?

La notion de process ou d'équipement à risque est étendue aux équipements de sécurité, par exemple aux capteurs de niveaux, des réservoirs de produits dangereux. Les équipements assurant une continuité de service sont également pris en compte, par exemple la climatisation d'une salle informatique.

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

Bâtiment	Process 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 le lieu ou se situe l'équipement ou un process sensible.

Process sensible : par extension, les équipements du process sensible à des perturbations électriques conduites sur les lignes d'alimentation.

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.

Effet d'une coupure ou d'une panne : pour les éléments identifiés dans la colonne *Process à risque*, les effets d'une coupure d'alimentation sont analysés. La même réflexion est menée en cas de défaillance d'un équipement électrique du process.

Besoin de protection : En fonction de l'effet d'une perturbation électrique sur un dispositif électrique. Il s'agit d'analyser les effets vis-à-vis des risques spécifiques à la foudre.

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.

III. METHODE PROPOSEE PAR LE GUIDE UTE C 15-443

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 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.

La méthode prend en compte les paramètres suivants :

- la probabilité de foudroiement local (Ng),
- 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.

III.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 :

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

Ng est la densité de foudroiement local (base de données METEORAGE accessible par MINITEL),

L_{BT} est la 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-dessous :

Situation de la ligne aérienne ou du bâtiment	Valeur de δ
Complètement entouré 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

Valeur de δ

III.2 Evaluation des conséquences des perturbations

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

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

où :

- S est le coefficient de sensibilité du matériel,
- M est le coefficient associé au prix du matériel,
- I est le coefficient associé au coût de l'indisponibilité du matériel,
- R est le coefficient associé au 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 C5 de la norme NF C 17-100.

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

Valeur de S

Prix du matériel	**M**
Prix faible	1
Prix moyen	2
Prix élevé	3

Valeur de M

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

Valeur de I

R : 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

Valeur de R

Ces deux paramètres F (fréquence d'apparition) et G (gravité) permettent de déterminer s'il est opportun de mettre un parafoudre sur l'équipement considéré. A partir de l'estimation des paramètres F et G, l'intérêt d'installer une protection est évalué comme suit :

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

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.

Il faut insister sur un point très important concernant la cohérence de la protection foudre. Lorsque l'application de méthode de la sphère fictive montre que le bâtiment 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 contre les effets indirects par parafoudres.

Protéger un bâtiment contre les effets directs et négliger la protection des équipements électriques dans le bâtiment est une grave erreur qui conduira inévitablement à la destruction de ces équipements en cas de foudroiement. La protection par paratonnerre ayant pour effet d'attirer la foudre conduira à augmenter le risque de détruire les équipements électriques.

IV. EXEMPLE SUR UN SITE INDUSTRIEL

Supposons un site industriel complexe. Nous ne décrivons pas en détail les installations, nous présentons les tableaux d'évaluation selon les deux méthodes décrites précédemment.

IV.1 Application de la méthode déterministe

La prise en compte de tous les équipements, dont le fonctionnement à une influence sur l'activité économique ou sur l'environnement, peut se présenter sous la forme du tableau de synthèse suivant :

Bâtiments	Process sensibles	Alimentation secourue	Effet d'une coupure	Effet d'une panne	Besoin de protection	Commentaire
Unité de production	automate de la chaine d'emballage	onduleur n°1 et groupe électrogène	mise en marche du groupe après 30 min	perte de productivité acceptable	non	le dépannage est rapide
	automate de contrôle réaction exothermique	onduleur n°1 et groupe électrogène	mise en marche du groupe après 30 min	risque d'emballement thermique	**oui sur l'onduleur et sue le commutateur normal/secours**	une mise en sécurité manuelle est possible
	informatique de supervision	onduleur n°2	autonomie 2 heures	perte de données inacceptable	**oui sur l'onduleur ON LINE**	protection pour raison économique
	centrale de détection incendie	batterie interne	autonomie 8 jours	non détection d'incendie	**oui sur l'alimentation**	la défaillance se traduit par une alarme au poste de garde
Bâtiment de stockage	chargeur de batterie des charriots élévateurs	non	arrêt du chargeur	arrêt du chargeur	non	
	centrale de détection incendie	batterie interne	autonomie 8 jours	non détection d'incendie	**oui sur l'alimentation**	la défaillance se traduit par une alarme au poste de garde
Bâtiment administratif	informatique de gestion	onduleur	autonomie 2 heures	perte de données acceptable	non	Les données sont sauvegardées quotidiennement
Zone de stockage extérieure	Système de jaugeage	non	perte d'information momentanée	perte de données acceptable	non	liaisons blindées centrale de mesure sur onduleur n° 1
Poste de garde	centrale de détection incendie	batterie interne	autonomie 8 jours	non détection d'incendie	**oui sur l'alimentation**	cette centrale regroupe les détections des autres alarmes
	moyens de communication internes et externes	non sauf téléphone	perte d'une partie des moyens de communications	perte d'une partie des moyens de communications	**oui sur l'alimentation les antennes, et les lignes entrantes (tel)**	le PC sécurité doit être opérationnel en cas d'accident

IV.2 Application du guide UTE C 15-443

Ng = 1,2 Densité de foudroiement.

$L_{BT} = 0$ Il n'y a pas de lignes BT aériennes sur le site.

$L_{HTA} = 1$ La ligne HTA est aérienne.

$\delta = 0$ Les bâtiments sont proches les uns des autres, et le site est bordé d'arbres de hauteur équivalente à celle des bâtiments.

Le niveau d'exposition, aux surtensions de foudre est évalué à : **F = 2,4**

S = 2 Sauf indication contraire, la tenue aux surtensions est normale (les équipements utilisés sont évalués pour un environnement industriel dans le cadre du marquage CE, la directive 89/336 (CEM) est obligatoire depuis le 01/01/96).

Les équipements informatiques sont évalués pour un environnement résidentiel et commercial, S=3.

La méthode d'évaluation présentée ci-dessus est appliquée aux principaux équipements électriques du site. Le tableau ci-dessous présente les résultats.

Equipements	S	M	I	R	G	***Protection***
Centrale d'alarme incendie	3	2	1	5	11	***Très conseillé***
Equipements informatique (bât. Administr.)	2	2	2	1	7	***Conseillé***
Climatisation (bureaux)	2	2	1	1	6	*Peu utile*
Ligne de fabrication	2	3	3	5	13	***Très conseillé***
Equipements informatique (production)	2	2	3	5	12	***Très conseillé***
PC de bureau	3	1	2	1	7	***Conseillé***
Climatisation (informatique de production)	3	2	2	1	8	***Conseillé***
Centrale d'air	1	2	2	1	6	*Peu utile*
Compresseurs	1	1	3	1	6	*Peu utile*

intérêt d'installer des parafoudres

Il est difficile de comparer et de donner les avantages et inconvénients des deux méthodes. La méthode déterministe repose plus sur l'étude des dangers alors que la méthode probabiliste est plus orientée sur l'approche foudre et peu être utilisée sans l'étude des dangers. Les deux méthodes peuvent être utilisées dans le cadre de l'arrêté du 28 janvier 1993.

V. 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 Uc,
- le courant de court-circuit admissible Icc,
- le niveau de protection Up,
- le courant maximal de décharge Imax.

V.1 Choix de Uc

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

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

- pour les réseaux IT, $Uc \geq 1{,}732\ U_0$,
- pour les réseaux TT et TN, $Uc \geq 1{,}5\ U_0$.

Avec U_0 la tension simple du réseau.

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

V.2 Choix de Icc

Icc est la valeur maximale du courant de court-circuit externe admissible par 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 Icc soit supérieur au courant de défaut à 50 Hz.

V.3 Choix de Up

Up est la tension résiduelle aux bornes du parafoudre lors du passage du courant Imax. Le niveau de protection Up caractérise les performances de protection du parafoudre, les valeurs typiques pour un réseau de 230/400V sont 2,5 kV- 2 kV- 1,8 kV-1,5 kV- 1,2 kV -1 kV.

Le niveau de protection Up est choisi en fonction de l'élément à protéger. Plus la valeur de Up est faible, meilleure est la protection.

Les équipements électriques et électroniques 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 que les matériels doivent être testés en immunité aux ondes de chocs selon la norme d'essai CEI 61000-4-5. Cette norme permet de vérifier que les équipements fonctionnent correctement lorsque l'onde résiduelle d'un coup de foudre est appliquée sur l'alimentation. Pour l'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 principe, en choisissant Up 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 de bureautiques, 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 de l'onde de chocs pour deux raisons :

- certains équipements ont été achetés avant la mise en application obligatoire du marquage CE le 1er 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 Up 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 Up
Electrotechnique	2,5 kV
Electronique peu sensible	1,8 kV
Electronique sensible	1 kV
Electronique très sensible	0,5 kV

Choix de Up

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 micros et mini-ordinateurs, les centrale d'alarme, les modems, les équipements de radiocommunications et de télécommandes radio,
- les matériels électroniques très sensibles sont les équipements médicaux, certaines bascules et balances électroniques professionnelles.

Choix de Imax

Imax est la valeur maximale du courant traversant le parafoudre (onde 8/20 µs).
Le guide UTE C 15-443 propose une méthode empirique, valable en mode commun et en mode différentiel. En fonction de l'estimation du risque F la valeur de Imax est la suivante :

Estimation du risque F	Imax
$F \leq 2$	≥ 10 kA
$2 < F \leq 4$	≥ 10 kA
$F > 4$	≥ 40 kA

choix de Imax

Lorsqu'un paratonnerre est installé sur le bâtiment, le courant Imax doit être supérieur à 20 kA, en général 40 kA.

Dans l'exemple traité précédemment, 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.

VI. CONCLUSION

Cette présentation des méthodes d'aide à la décision pour la protection contre les effets indirects a pour but de montrer qu'il est nécessaire d'avoir une approche globale et formalisée. Trop souvent les protections sont mises en place par principe ou habitude, en oubliant les raisons qui ont amené à protéger ces matériels. Les exemples d'applications montrent que l'approche est simple et efficace, elle permet par ailleurs de faire évoluer rigoureusement les protections d'un site en fonction des travaux et des nouvelles installations.

VII. REFERENCES

- Arrêté foudre du 28 janvier 1193
- Circulaire du 28 octobre 1996 relative à l'application de l'arrêté du 28 janvier 1993
- Guide UTE C 15-443
- Le risque foudre et les ICPE, document INERIS