

ÉLECTROTECHNIQUE

La foudre dans l'industrie

▼ La foudre va encore frapper! Certaines régions sont "privilegiées", aucune n'est à l'abri. La foudre est un phénomène insidieux parce que ses effets peuvent se faire sentir même si on se trouve à plusieurs kilomètres du point d'impact. Et quand un équipement électronique ou un réseau connaît une panne, on oublie souvent que ça peut être à cause de la foudre. Phoenix Contact explique ici la démarche générale qu'il faut adopter pour se prémunir contre la foudre et présente quelques solutions techniques.

La législation française et les nouvelles normes imposent de plus en plus de se protéger contre la foudre. Plusieurs arrêtés ont été publiés pour protéger les sites industriels "sensibles" (voir encadré "Protection obligatoire pour les sites sensibles"). Plus généralement, la nouvelle norme NFC 15-100 oblige à utiliser des parafoudres dans les installations électriques à basse tension, lorsque ces dernières sont alimentées par réseaux aériens dans des zones à fort risque de foudroiement ou en cas de présence d'un paratonnerre sur le bâtiment.

Il reste que quand on évoque le sujet de la foudre dans le monde de l'industrie, les industriels se posent des questions. Comment

aborder les textes? Y a-t-il de vrais risques? Comment y faire face? Quelle solution envisager?

Une chose est sûre, l'intégration croissante de l'électronique et des automatismes dans les procédés industriels rend vulnérables les installations industrielles. Les contraintes de productivité de plus en plus élevées, l'optimisation des coûts d'exploitation et de maintenance ainsi que les risques pour la sécurité des personnes et de l'environnement imposent une prise en

compte quasi systématique des risques naturels et la foudre est aujourd'hui devenue un facteur de risque incontournable pour bon nombre d'industriels.

1 - Des risques bien réels

Il est toujours difficile pour le responsable d'un site industriel d'estimer les risques, surtout si jamais aucun sinistre n'a été vécu. Pourquoi investir dans de coûteuses protections si aucun problème n'est survenu? C'est souvent la première question qui est posée. En effet, comment estimer la probabilité d'un risque naturel, peu connu et difficilement palpable? Comment calculer le retour sur investissement d'une telle démarche? Tant de questions qui restent souvent sans réponses. . .

Pour tenter d'y répondre il est nécessaire de s'imprégner des expériences souvent malheureuses de ceux qui ont déjà subi des dommages. Des pannes récurrentes constatées sur un modem d'une installation en rase campagne à l'arrêt total d'une unité de production pendant 48 heures, les problèmes

constatés sont aussi divers que variés. Et nul ne semble épargné. Du sud au nord, des plaines aux régions montagneuses, du milieu urbain aux zones isolées, l'expérience montre que lorsqu'un orage éclate dans l'environnement d'une installation technique, il est fort probable d'y engendrer des dégâts plus ou moins importants.

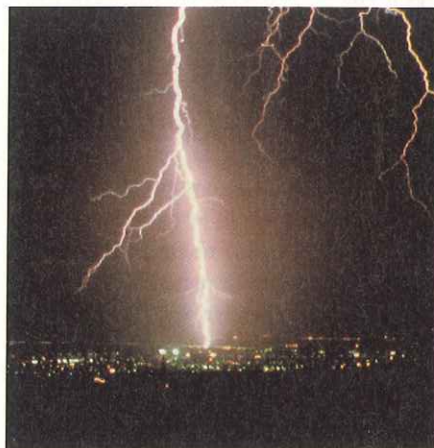
Comment expliquer les dégâts ?

Il est souvent assez facile d'imaginer le scénario qui a pu entraîner une panne. Dans la plupart des cas, c'est principalement l'équipement le plus sensible d'un système qui sera endommagé. Cela s'explique très simplement si on imagine que la foudre va donner naissance à des surtensions induites dans les câbles des réseaux électriques, d'instrumentation ou de communication. C'est donc l'équipement qui présente la plus faible tenue aux chocs, le diélectrique le moins efficace, qui constituera une faille entre un conducteur actif et le potentiel de terre. La différence de potentiel souvent très élevée claquera l'isolement du composant et permettra ainsi au courant de s'établir entre les circuits normalement non équipotentiels.

Les surtensions appelées "transitoires", puisqu'elles présentent des caractéristiques de front très rapide de l'ordre de quelques microsecondes sont très dangereuses pour les composants électroniques de type Cmos. De quelques dizaines de volts à plusieurs dizaines de kilovolts, les surtensions sont dangereuses pour la plupart des équipements électriques; les équipements électrotechniques les plus robustes ne garantissent en effet leur immunité que jusque 4 voire 6 kV, mais cette immunité est en général beau-

L'essentiel

- ▶ Il existe de nombreuses réglementations en matière de foudre, qui s'appliquent notamment aux sites sensibles
- ▶ Mais la foudre frappe sans discernement et chaque site doit donc faire une étude "foudre"
- ▶ Très souvent, c'est l'analyse du risque (en particulier des indisponibilités du process) qui conduit à choisir la solution la plus appropriée
- ▶ Il existe plusieurs types de parafoudres, aussi bien pour la protection d'installations complètes que pour la protection d'un capteur ou d'un réseau local



Un véritable risque!



coup plus faible (les équipements qui intègrent une électronique garantissent seulement 1,5 kV).

Foudre = surtension

Comment et pourquoi un coup de foudre donne-t-il naissance à une surtension? L'explication est simple. Le coup de foudre génère un fort champ électromagnétique dans son environnement. Les câbles, baignés dans ce champ intense, qui plus est à haute fréquence (jusqu'à 1 MHz), deviennent des self-inductances. On peut considérer, en valeur typique, qu'un câble présente une inductance d'environ 1 μH par mètre de câble. La tension induite est alors très élevée et elle est proportionnelle à la fois à l'inductance du circuit et du front de montée de l'onde de choc. La loi est exprimée suivant la formule :

$$U = L \cdot \frac{di}{dt}$$

où U est la tension induite en kV, L l'inductance en micro Henry et di/dt le front de montée en kiloampère par microseconde. Il existe différents modes de couplages électromagnétiques (inductifs, galvaniques ou capacitifs). Du fait de ces couplages, on comprend aisément qu'une surtension dangereuse devienne probable dès que l'on se trouve en présence de réseaux étendus, et notamment lorsque des liaisons existent entre différents bâtiments. Plus le cheminement des câbles s'effectue à proximité du point d'impact, par exemple d'un paratonnerre, plus la tension induite sera élevée. Plus une liaison est longue entre deux équipements, plus il sera difficile de garantir une bonne équipotentialité. On considère qu'il y aura couplage entre deux terres interconnectées entre elles dès que la longueur de l'interconnexion dépassera le trentième de la longueur d'onde. A 1 MHz, une câblure de terre, même d'une forte section, n'offrira plus

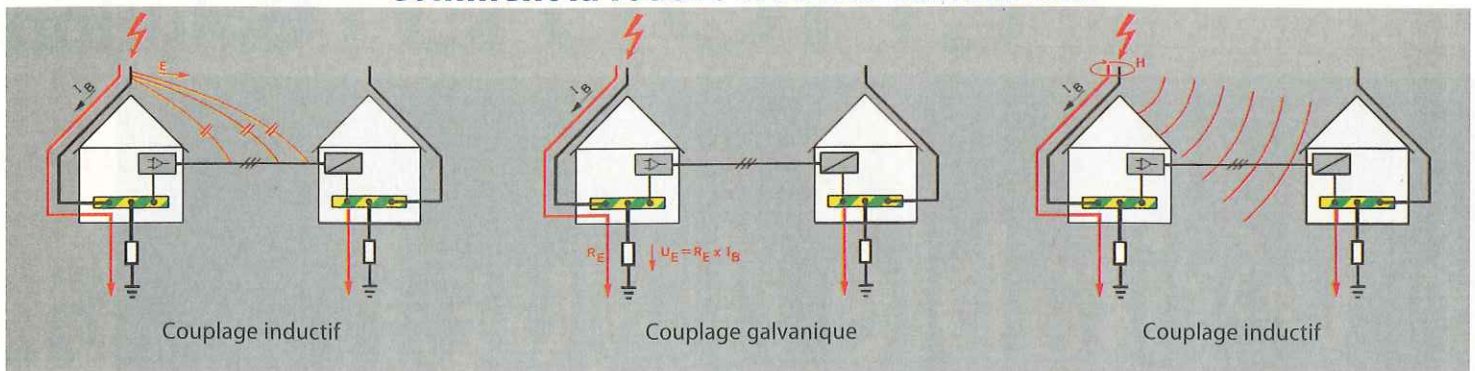
une bonne équipotentialité si sa longueur est supérieure à 10 mètres.

2 - Comment faire face à la foudre ?

Il est assez simple de comprendre les principes de base qui vont permettre de se protéger contre la foudre. On a affaire à des phénomènes électriques et, même si les grandeurs électriques à traiter sont inhabituelles, la loi d'Ohm reste une valeur sûre, applicable très simplement. Aucun phénomène empirique ou fatalité divine n'intervient en électricité. Les sinistres sont presque toujours explicables et des solutions efficaces sont envisageables dans la plupart des cas.

Alors pourquoi nos installations ne sont-elles pas toutes immunisées? La réponse est souvent la même : le risque n'a pas été pris en compte durant la conception de l'installation parce qu'au départ personne ne l'a envi-

Comment la foudre crée des surtensions



sagé, n'a tenu compte de contraintes environnementales ou tout simplement eu connaissance des risques liés à la foudre.

Les seules personnes conscientes du risque sont souvent les techniciens en charge de la maintenance. Ils ont l'expérience du terrain et font souvent le bon diagnostic lorsqu'ils sont amenés à réenclencher un disjoncteur, réinitialiser un programme ou encore remplacer une carte sur un automate. L'expérience est, dans ce domaine, prépondérante. Les techniciens souvent confrontés aux problèmes de foudre (ou de CEM en général) sont souvent les plus à même de trouver des parades judicieuses. La compatibilité électromagnétique et la protection foudre sont souvent une affaire de compromis entre la gestion d'un risque et l'étude d'une solution. Cette dernière doit prendre en compte la configuration de l'installation, la sensibilité des appareils qui la composent et la tolérance ou non d'une panne ou d'une perte de continuité de service : c'est l'alchimie de tous ces ingrédients qui permet souvent de définir la solution technico-économique la plus adaptée.

Si le vécu et la connaissance du terrain sont importants, comment faire pour prévoir la protection d'une installation future ? Dans le cadre de travaux neufs par exemple, il faudra réaliser une étude de risque. Pour les installations classées pour la protection de l'en-

vironnement (ICPE) celle-ci s'appelle "étude préalable". Souvent basée sur l'étude de dangers, cette étude considère principalement les équipements de sécurité. Nous pouvons prendre pour exemple les systèmes d'analyses des fumées, les détections de gaz, le traitement des effluents ou encore la détection incendie. Les systèmes automatisés pour la gestion des process dangereux peuvent être également concernés s'il existe des risques de perte le contrôle d'une unité en cas de panne sur un équipement. Bien souvent, on utilisera des systèmes redondants ou tri redondants qui garantissent une sécurité suffisante. La sécurité positive est une méthode largement répandue lorsque les risques sont importants ; cette solution présente des avantages évidents pour rendre inoffensive des installations à risque. Une panne ou erreur d'interprétation engendre une mise en sécurité systématique, la fermeture des électrovannes, et le repli des systèmes. Le problème majeur dans ce cas n'est plus la sécurité (qui est respectée) mais la continuité de service, puisqu'une surtension qui viendrait endommager une carte d'automate entraîne inéluctablement un arrêt de production. Bien souvent, les industriels profitent de la mise en conformité à l'arrêté du 28/01/93 pour analyser les risques liés à la continuité de service de l'outil de production. Sujet sou-

vent plus motivant pour l'industriel qui ne peut tolérer une perte d'exploitation.

En résumé, l'étude "foudre", c'est l'analyse du risque, l'identification des systèmes qui ont un impact sur ce risque et l'analyse des réseaux qui rendent sensibles aux perturbations ces systèmes.

L'étude tient compte des solutions alternatives à la gestion du risque, la redondance, les procédures de sécurité particulières, la présence de systèmes de protection spécifiques. Elle permet de mettre en évidence des faiblesses qui peuvent être dues à des cheminements de câbles externes sans immunité adaptée, la présence de capteurs dans des environnements fortement perturbés ou encore de systèmes d'acquisitions stratégiques.

Quelle solution envisager ?

On l'a bien compris, c'est la différence de potentiel entre deux éléments qui est dangereuse. La surtension a souvent une amplitude telle qu'un claquage de l'isolement peut endommager un composant ou un appareillage.

Il faut également rappeler que dans certains environnements, les étincelles s'avèrent dangereuses. En effet, dans les zones à risque d'explosion, il ne sera toléré aucun arc électrique car celui-ci peut déclencher un incendie, voire une explosion.

La solution, c'est l'équipotentialité. Il faut que toutes les prises de terre et les masses soient au même potentiel. Oublions les prises de terre distinctes et indépendantes ou les réseaux flottants lorsqu'il est possible de s'en passer. Il est impératif d'avoir un réseau de terre et masses unique et équipotentiel. Mais attention, nous devons toujours garder à l'esprit que cette équipotentialité, pour être efficace, doit être réalisée en fonction de la fréquence des perturbations contre lesquelles on souhaite être immunisé.

A fréquence industrielle, c'est-à-dire 50 Hz, l'équipotentialité est directement liée à la sécurité des personnes et le bureau de contrôle ne manquera pas d'en vérifier l'efficacité à cha-

Protection obligatoire pour les sites sensibles

L'arrêté du 28/01/93 impose la protection contre la foudre des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). Qu'ils soient classés "Seveso" ou "soumis à autorisation", ces sites doivent faire l'objet d'une protection complète.

Les silos de stockage de céréales, de graines, de produits alimentaires ou tous autres produits organiques dégageant des poussières inflammables sont également concernés :

l'arrêté du 29/07/98 impose de les protéger contre la foudre. Les installations nucléaires de base sont elles aussi soumises aux mêmes contraintes par l'arrêté du 31/12/99.

La nouvelle norme NFC 15-100 oblige à utiliser des parafoudres, dans les installations électriques à basse tension, lorsque ces dernières sont alimentées par réseaux aériens dans des zones à fort risque de foudroiement ou en cas de présence d'un paratonnerre sur le bâtiment.

Rappel des textes officiels...

- ▶ Décret n° 79-846 du 28/09/79 concernant les Etablissements Pyrotechniques
- ▶ Arrêté du 20/12/82 concernant les installations d'élevage de volailles
- ▶ Arrêté du 28/01/93 concernant les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)
- ▶ Arrêté du 29/07/98 concernant les silos de stockage de céréales ou produits organiques dégagant des poussières inflammables
- ▶ Arrêté du 31/12/99 concernant les installations nucléaires de base (INB)
- ▶ La norme NFC 15-100, édition 12/2002, chap. 443 et 534
- ▶ Le guide UTE C15-443, édition 08/2004

geur du spectre fréquentiel de la foudre peut atteindre le mégahertz. Cela nécessite donc de densifier les interconnexions afin de réduire la taille du maillage des terres et masses. Plus la maille est serrée, meilleur est le comportement en fréquence. Rappelons qu'à 1 MHz, il n'y aura pas couplage si l'interconnexion reste inférieure à 10 mètres. Pour satisfaire à cette contrainte, on comprend aisément que toute masse métallique, toute charpente, tout radier béton, tout chemin de câble, en étant interconnecté entre eux, contribue à la densification du maillage, et celui-ci devient ainsi plus efficace. Cela implique que tous les corps d'état adoptent une démarche commune et que cette philosophie soit la même pour tous. Des prises de terre au ferrailage des dalles béton, des charpentes métalliques des bâtiments, à l'interconnexion des masses aux conducteurs de protection des équipements électriques PE, un seul et unique réseau équipotentiel, maillé de la façon la plus dense possible, est impératif.

cun de ses passages. A cette fréquence, il n'est pas très difficile de réaliser l'équipotentialité. Néanmoins, ce qui est efficace à 50 Hz ne l'est peut être pas en haute fréquence. La lar-

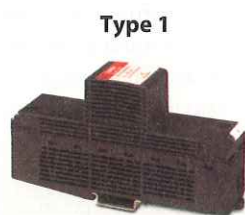
3 - Le rôle du parafoudre

Un parafoudre, ou plutôt une protection anti-surtension, est en réalité un élément d'équipotentialité qui a pour but de limiter les différences de potentiel entre le réseau équipotentiel et un conducteur actif, qu'il soit d'énergie, d'instrumentation ou bien de télécommunication. Il ne s'agit pas de réaliser un court-circuit franc mais d'établir l'équipotentialité entre les réseaux uniquement en cas de différence de potentiel dangereuse, c'est-à-dire lorsque cette différence de potentiel dépasse la tension de tenue aux chocs des appareillages. La protection antisurtension est un des éléments qui participe à l'efficacité du réseau équipotentiel et qui permet d'accroître l'immunité d'une installation.

Où placer judicieusement les parafoudres ?

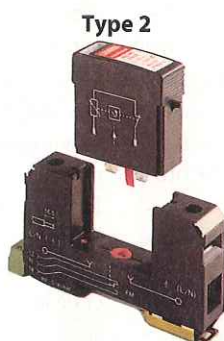
La norme NFC 15-100 oblige dans certains cas de raccorder un parafoudre à l'origine de la distribution basse tension du bâtiment.

Les grands types de parafoudre



Obligatoire en présence d'un paratonnerre, le parafoudre **Type 1** est un parafoudre BT très forte énergie. Placé dans le TGBT, il constitue le premier niveau de protection de la distribution basse tension. *Phoenix Contact* propose des solutions qui permettent une tenue aux chocs jusqu'à 50 kA selon l'onde 10/350 équivalente à un foudroiement direct. Conçu pour l'industrie, ce parafoudre est utilisable pour tout régime de neutre et pour des courants de court-circuit jusqu'à 50 kAeff. Très robuste, grâce à sa technologie à éclateur à amorçage électronique, il est quasiment indestructible.

Le parafoudre **Type 2**, assure un second niveau de protection. Il vient s'ajouter en aval du Type 1. Implanté dans les armoires divisionnaires, il limite la tension résiduelle à



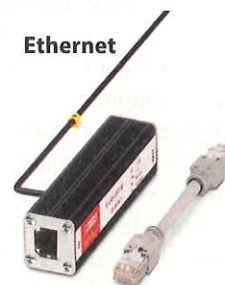
un niveau acceptable pour les équipements électroniques. Constitué de varistance, ce parafoudre intègre un déconnecteur thermique pour le protéger et une signalisation d'état. La maintenance s'effectue par un simple débrogage de la fiche défectueuse.

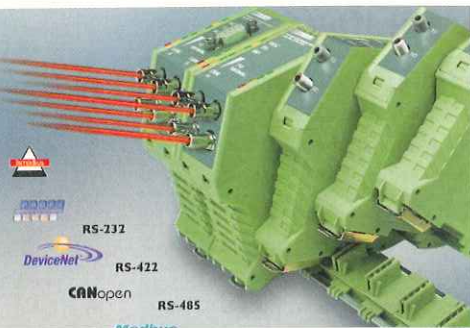
Le parafoudre **Type 3** assure la protection des équipements terminaux très sensibles. C'est la protection terminale dédiée à l'alimentation de l'automate, du capteur ou de l'interface déportée d'un système stratégique. Ce parafoudre s'intègre directement dans le coffret déporté, immédiatement en amont de la carte d'alimentation. Composé d'un éclateur à gaz et de varistances, il intègre une signalisation défaut et une protection thermique. Il suffit de le débrogger pour en assurer la maintenance.



Le parafoudre **d'instrumentation**, est utilisé pour protéger les cartes d'entrées/sorties des automates, en particulier les boucles 4-20 mA ou encore une mesure de température Pt100. Il existe en version "sécurité intrinsèque" pour la protection des boucles en zone à risques. Composé d'un éclateur à gaz et de diodes d'écrêtage, il offre à la fois un très fort pouvoir de décharge ainsi qu'un niveau de protection très bas.

Le parafoudre **Ethernet**, doté d'un adaptateur RJ45, assure la protection des réseaux numériques stratégiques, qui représentent souvent les nerfs stratégiques des installations industrielles. Développé spécialement pour la catégorie 5E (100 Mbits/s), ce parafoudre assure une bonne protection des réseaux Ethernet qui cheminent en environnement perturbé.



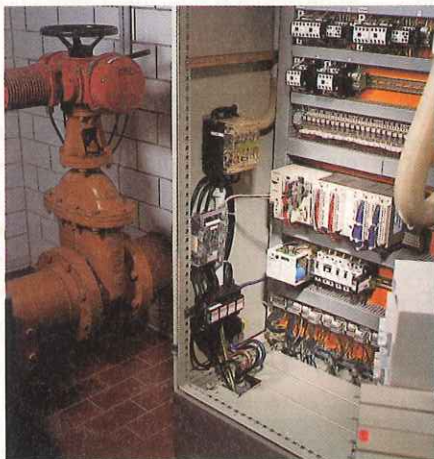


Les liaisons à fibre optique, grâce à leur isolement galvanique, constituent le meilleur moyen d'éviter la propagation de la foudre.

Il doit être de Type 1 en présence d'un paratonnerre ou de Type 2 en zone très exposée si l'alimentation est aérienne. L'évaluation du risque implique souvent de raccorder un parafoudre pour des raisons évidentes de sécurité et de continuité de service. En réalité, il faudrait analyser le schéma électrique en commençant par le bas, c'est-à-dire de commencer par déterminer quels sont les récepteurs à protéger et de remonter progressivement vers la source d'alimentation. Une cascade de parafoudres est souvent nécessaire pour obtenir une protection efficace, qui offre à la fois une bonne tenue aux chocs (comportement en énergie) et une bonne limitation de la tension aux bornes du récepteur (tension d'écrêtage).

Le parafoudre Type 1 placé à l'origine de l'installation, par exemple dans le TGBT, limite l'énergie mais ne réduit pas suffisamment la tension. Le parafoudre Type 2 est quant à lui positionné entre l'origine et le récepteur sensible, par exemple dans un coffret divisionnaire ou encore au primaire d'un onduleur. Il faut considérer que pour être efficace, le parafoudre doit se trouver à moins de 30 mètres de câble du récepteur à protéger ; il est donc impératif de faire figurer les longueurs de câbles sur les schémas électriques afin de définir l'emplacement idéal.

Il existe aussi des parafoudres Type 3 qui sont des protections fines dédiées aux appareillages très sensibles comme des automates programmables, des calculateurs ou encore des appareils de mesure ou autres analyseurs. Dans ce cas, le parafoudre Type 3 est directement raccordé à proximité du récepteur,



Parafoudre dans une armoire d'automate.

dans l'armoire machine, le coffret d'instrumentation ou de détection incendie.

Les parafoudres basse tension sont-ils suffisants ?

Nous l'avons dit, les différences de potentiel exposent les équipements aux surtensions. Chaque liaison galvanique (câble en cuivre) étant susceptible d'exposer l'appareil à un potentiel différent, il est donc nécessaire d'y associer des protections antisurtension. Celles-ci seront raccordées de préférence sur les câbles d'instrumentation ou les bus de communication qui pourraient exposer le système aux risques de foudre. On s'attachera en priorité aux systèmes qui ont des liens distants, lorsque les câbles transitent en extérieur ou dans des environnements perturbés (proximité de variateur de fréquence, de fortes sources de champs magnétiques).

Les réseaux numériques. Les réseaux de communication par bus constituent par définition les nerfs stratégiques du système. Perdre un de ces nerfs, c'est perdre le contrôle d'une partie de l'installation. Alors comment les protéger ? Chaque câble se comportant comme une antenne, plus il est long plus le générateur de courant est efficace. Les interfaces raccordées aux extrémités constituent les points sensibles du réseau. C'est donc à chacune des extrémités de ces liaisons qu'il est nécessaire de raccorder une protection. Le parafoudre est spécifique au protocole du bus, il est adapté à ses caractéristiques et il est dimensionné pour offrir une tenue aux chocs suffisante.

Une autre solution consiste à privilégier l'usage de la fibre optique. Dans ce cas, l'isolation galvanique est totale et la solution optimale si on a bien prévu la protection de l'alimentation des convertisseurs.

Les boucles de mesure analogiques. Difficile de trouver une isolation galvanique efficace pour les mesures analogiques. N'oublions pas les grandeurs électriques en jeu. Un coupleur optique, même de bonne qualité, n'offrira qu'un isolement relatif (2 kV en général). Il peut donc être nécessaire, sur les boucles longues, qui cheminent en extérieur, d'ajouter une protection en entrée des cartes automates. Si les capteurs sont sensibles ou que la mesure est très stratégique, il faut envisager d'ajouter un parafoudre du côté du capteur lui-même.

L'informatique et la téléphonie. Là aussi, il est indispensable d'analyser l'installation dans son ensemble. Les lignes de télécommunications externes sont à protéger en priorité mais il faut penser également aux lignes prioritaires utilisées pour le service incen-



Parafoudre au plus près du capteur.

die. En interne, on veillera surtout à la protection des liaisons inter bâtiments.

Les parafoudres télécom sont généralement implantés sur les répartiteurs du local technique. Là encore, on devra tout particulièrement soigner le maillage équipotentiel pour offrir la meilleure immunité possible sur des systèmes très sensibles et très coûteux.

Comment s'assurer de l'efficacité d'un système de protection ?

Il n'existe pas d'appareil qui permette de tester une installation complète. Sans prendre de risque, on peut dire qu'une démarche globale et structurée, dans le respect des normes, avec des protections normalisées, permet de garantir une bonne immunité. Même en cas de problèmes récurrents, les résultats obtenus sont souvent étonnants au regard des dysfonctionnements rencontrés avant la mise en place de la démarche de protection.

La maintenance préventive est possible en utilisant une station d'essai qui permettra de déceler la fin de vie prochaine d'un parafoudre et de le remplacer en préventif. Certains gros sites industriels, par exemple les raffineries pétrolières, adoptent cette option : le service maintenance organise deux campagnes de tests chaque année, au printemps et à l'automne, avant et après la saison orageuse, minimisant ainsi les risques d'indisponibilité du système de contrôle/commande.

Pour s'assurer de la conformité de son installation, il faut souvent faire appel à son bureau de contrôle qui missionnera en général un spécialiste de la CEM et de la foudre. Il faut rappeler que le contrôle périodique réglementaire ne mettra pas en évidence une éventuelle faille dans le système de protection, qui ne présentera pas forcément de risque pour les personnes. Il est donc nécessaire de missionner ce spécialiste pour une vérification spécifique "foudre".

Olivier Pellissier
Chef de produits Trabtech
Phoenix Contact SAS