

## ÉLECTROTECHNIQUE



# Bien choisi et bien monté, le parafoudre est efficace. Sinon...

**L'**actualité fournit régulièrement des exemples de dégâts importants provoqués par la foudre. Du coup, lorsque l'orage se fait menaçant, tout un chacun évite à se hasarder

à commettre des imprudences et reste à l'abri. Si l'être humain est capable de réduire les risques pour sa "modeste" personne, il est beaucoup plus laxiste pour protéger les équipements électriques et électroniques qui l'entourent. Ceux-ci sont pourtant très sensibles à la foudre. Même lorsque celle-ci tombe loin du bâtiment, l'équipement peut être fragilisé, voire détruit. Et dans ces cas-là, sous prétexte que la foudre est "tombée loin", on ne soupçonne même pas

▼ **La protection des équipements électriques et électroniques contre les surtensions et la foudre fait l'objet de très nombreuses normes et réglementations. De plus, l'offre en produits de protection est abondante et diversifiée. Au bout du compte, il existe des solutions pour tous les cas de figure qui peuvent se présenter. Mais il reste beaucoup à faire pour sensibiliser les industriels. Et quand il y a une prise de conscience du risque "foudre", encore faut-il mettre en œuvre des solutions qui soient vraiment adaptées au besoin. C'est loin d'être le cas. Phoenix Contact revient ici sur tous ces aspects et se focalise principalement sur le choix des parafoudres et leur montage.**

qu'elle peut être responsable du dysfonctionnement éventuel ou de la mise hors service de l'équipement. On pense plutôt à un défaut de fabrication ou à l'utilisation de composants de piètre qualité. Il est donc très important de s'informer sur la foudre, afin d'avoir une réelle conscience du "risque foudre" (voir Mesures de mars 2005, page 32).

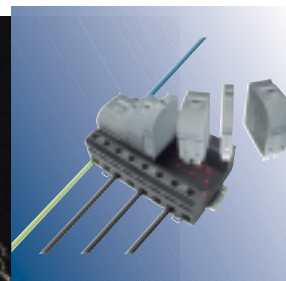
### Parafoudres, pour quoi faire ?

Insistons sur ce point : les surtensions induites par la foudre peuvent, dans certains cas, entraîner des arrêts de production ou encore l'indisponibilité de systèmes de gestion technique centralisée, de détection incendie ou de contrôle d'accès. Les équipe-

ments informatiques et les télécoms sont également fréquemment endommagés, dans des environnements aussi divers et variés que sont l'industrie, le tertiaire ou encore l'environnement domestique des particuliers. Il importe donc de s'intéresser aux protections par parafoudre. Dans certains cas, cette protection est obligatoire. Par exemple, la norme NFC 15-100 (édition décembre 2002) impose l'usage des parafoudres basse tension dans certaines conditions. Les conditions en question sont diverses et variées. Par exemple, la norme prend en compte la localisation géographique de l'installation : certaines régions du territoire français sont plus exposées que d'autres (le quart "Sud Est" de la France et une bonne partie de l'Aquitaine sont classées

### L'essentiel

- ▶ Le niveau de protection à assurer pour une installation dépend de la région où elle se trouve et des caractéristiques de la ligne électrique qui alimente le bâtiment.
- ▶ Les tensions de spécification des parafoudres doivent également être considérées en fonction du schéma de liaison à la terre (régime de neutre) de l'installation.
- ▶ Il faut en général prévoir deux parafoudres, l'un en tête de l'installation, l'autre au niveau des équipements.
- ▶ Le schéma de câblage adopté a également une grande incidence



en zone AQ2, à forte exposition). Le type de réseau d'alimentation public (lignes aériennes ou enterrées) ou la présence d'un paratonnerre sur le bâtiment concerné a également une incidence sur les types de parafoudres à

utiliser et l'endroit où les mettre. Le type d'équipement à protéger a également son importance. Le chapitre 443 de la NFC 15-100 classe les équipements en trois catégories, selon le niveau de chocs qu'ils

doivent pouvoir encaisser.

**Catégorie I :** matériels comportant des circuits électroniques particulièrement sensibles. Tenue aux chocs de 1,5 kV.

**Catégorie II :** appareils électrodomestiques à programmation mécanique. Tenue aux chocs de 2,5 kV.

**Catégorie III :** armoires de distribution, appareillages, matériels à usage industriel. Tenue aux chocs élevée de 4 kV.

**Catégorie IV :** compteurs électriques, protections contre les surintensités. Tenue aux chocs très élevée de 6 kV.

## Parafoudre obligatoire, quand et pourquoi ?

Alimentation du bâtiment	Niveau kéraonique (Nk)	
	Nk ≤ 25 (Zone AQ1) <sup>(1)</sup>	Nk > 25 (Zone AQ2) <sup>(1)</sup>
Bâtiment équipé d'un paratonnerre	Obligatoire Parafoudre type 1 ou 2 <sup>(2)</sup>	Obligatoire Parafoudre type 1 ou 2 <sup>(2)</sup>
Alimentation Basse Tension par une ligne entièrement ou partiellement aérienne <sup>(3)</sup>	Non obligatoire	Obligatoire Parafoudre type 2 <sup>(4)</sup>
Alimentation Basse Tension par une ligne entièrement souterraine	Non obligatoire	Non obligatoire

<sup>(1)</sup> La Zone AQ1 correspond aux régions où il existe une densité de foudroiement relativement faible. La zone AQ2 correspond aux régions présentant des densités de foudroiement importantes.

<sup>(2)</sup> Le type de parafoudre à retenir et son emplacement dépendent des caractéristiques de l'installation.

<sup>(3)</sup> Cette disposition n'est pas applicable lorsque les lignes aériennes sont constituées de conducteurs isolés avec écran métallique relié à la terre ou comportant un conducteur relié à la terre.

<sup>(4)</sup> Toutefois, l'absence d'un parafoudre est admise si elle est justifiée par l'analyse du risque définie dans le guide UTE C 15-443

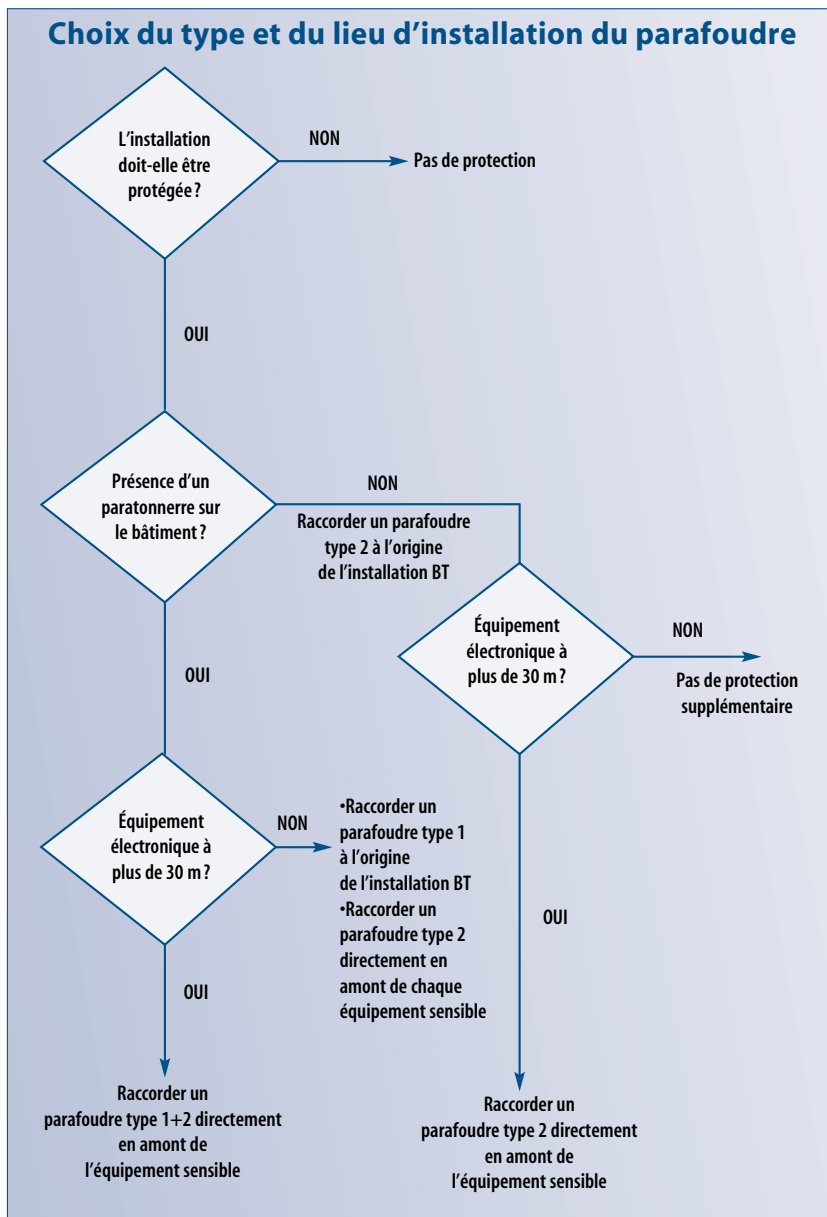
Ce tableau extrait de la norme NFC 15-100 montre que l'obligation d'installer des parafoudres dépend à la fois du risque de foudre présent sur le site (qui varie d'une région à l'autre) et des conditions dans lesquelles le bâtiment est alimenté.

## La mise en œuvre ne doit pas être négligée !

Une difficulté lors de la conception de l'installation des parafoudres, c'est de pouvoir s'assurer que la protection sera efficace en cas de coup de foudre. Et cela, sans pouvoir réaliser d'essai. D'ailleurs, qui oserait tenter un test grandeur nature sur un process industriel en fonctionnement en prenant le risque de détruire partiellement ou totalement l'installation ?

Un parafoudre, même de très bonne qualité, peut s'avérer totalement inefficace s'il est

## Choix du type et du lieu d'installation du parafoudre



mal choisi ou mal installé. Un des organismes Français les plus connus considère que dans 9 cas sur 10, les installations de parafoudres ne respectent pas les normes de mise en œuvre et sont donc inefficaces. De plus, il faut savoir que très peu d'installations sont contrôlées. Il est donc vraisemblable que moins de 10 % des installations soient protégées correctement.

Dans ces conditions, il est impératif de s'assurer que toutes les règles de mise en œuvre ont été respectées, que les parafoudres utili-

sés sont les mieux adaptés, qu'ils sont conformes aux normes et raccordés de façon optimale. L'UTE a édité une toute nouvelle version du guide C15-443 en août 2004. Ce document constitue la véritable "bible" pour l'électricien qui doit définir, choisir et installer des parafoudres basse tension et courants faibles.

Un bureau de contrôle peut également être missionné pour vérifier que l'installation est bien réalisée.

D'une manière générale, les parafoudres s'in-

tègrent dans les armoires électriques modulaires. Ils sont soit unipolaires soit multipolaires. Une signalisation de défaut permet de connaître leur état, qui peut être géré à distance par un contact de défaut.

Les parafoudres sont dimensionnés en fonction des risques, du type de réseau électrique et de la sensibilité des matériels à protéger. Un concept de protection globale doit prendre en compte aussi bien l'alimentation en énergie que les signaux de mesure/commande/régulation, sans oublier les transmissions de données.

### Des phénomènes bien modélisés...

La définition des caractéristiques d'une protection contre les surtensions repose sur l'analyse et l'estimation des perturbations attendues. Des impulsions normalisées ont été définies, caractérisées par deux chiffres (8/20  $\mu$ s, 10/350  $\mu$ s, notamment) : le premier correspond au temps de montée et le second au temps au bout duquel l'amplitude de la décharge a diminué de moitié. Ces impulsions normalisées sont censées représenter les différents types de coups de foudre que peuvent subir les équipements sur les installations. Elles servent de base à la caractérisation des parafoudres et à comparer les systèmes de protection antisurtension et déterminer les paramètres du parafoudre en fonction des applications.

L'onde 10/350  $\mu$ s est prise en compte pour les courants de choc de foudre directs ou proches de l'installation, suivant la norme CEI 61312-1. Elle permet de vérifier la tenue aux chocs des parafoudres primaires suivant la classe d'essai 1 de la norme NF/EN 61643-11.

Pour définir une protection secondaire ou fine, que ce soit pour la distribution basse tension ou bien pour des signaux de commandes/mesures/régulations ou encore de données, on utilise en général l'onde de courant de choc 8/20  $\mu$ s, également normalisée.

La forme des courants de chocs n'est qu'un des paramètres servant à caractériser un parafoudre. L'intensité du courant de choc est en un autre, très important. En fait, on définit deux intensités,  $I_{max}$  et  $I_n$ , dont les valeurs atteignent plusieurs kA, voire dizaines de kA.  $I_{max}$  est le courant maximal que le parafoudre est capable de supporter une fois sans se détériorer.  $I_n$  est le courant nominal de décharge que le parafoudre doit pouvoir encaisser 20 fois sans se détériorer.

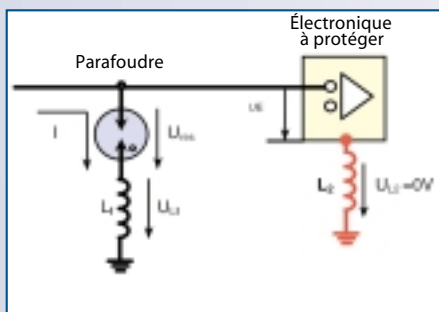
Parmi les autres paramètres importants, on citera  $U_c$ , qui est la tension maximale de régi-

## Bonnes pratiques du câblage

Dans les trois cas, le pied métallique du parafoudre est en équipotentialité directe avec le rail DIN sur lequel est monté le parafoudre, et qui établit une bonne référence de potentiel pour les équipements à protéger.

- Courant de foudre : 4 kA en onde de choc 8/20  $\mu$ s
- L1, L2 : inductances des câbles de liaison des équipements à la masse
- Inductance linéique des câbles : 1  $\mu$ H/m
- Longueur des connexions : 3 m
- $U_E$  : tension aux bornes de l'électronique (lors d'une onde de choc, cette tension doit être toujours inférieure à la tension de tenue aux chocs de l'électronique à protéger)
- Ures : tension résiduelle après déclenchement du parafoudre

### Première solution. Raccordement de masse indépendant pour l'électronique



Le raccordement à la masse de l'électronique est réalisé séparément vers la référence équipotentielle. On trouve cette configuration lorsque les protections sont situées à l'extérieur de l'armoire où sont implantés les équipements à protéger.

D'après la loi des mailles, il en résulte pour  $U_E$  :

$$U_E = U_{res} + U_{L1} - U_{L2}$$

$$= U_{res} + (L1 \cdot \Delta i / \Delta t) - (L2 \cdot \Delta i / \Delta t)$$

Le parafoudre est ici un éclateur à gaz. Après amorçage, aucun courant ne circule au travers de l'inductance L2, donc la tension  $U_{L2}$  reste ici à 0V.

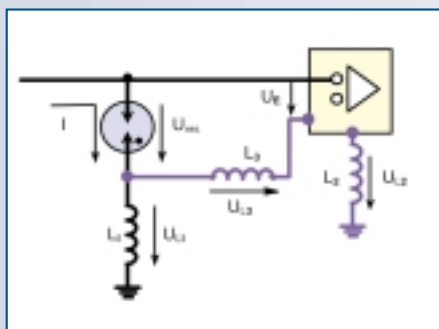
$$U_E = U_{res} + U_{L1}$$

$$= U_{res} + (3 \text{ m} \cdot 1 \mu\text{H/m}) \cdot (4 \text{ kA} / 8 \mu\text{s})$$

$$= U_{res} + 1500 \text{ V}$$

Si le matériel à protéger appartient à la catégorie 1 (tenue aux chocs de 1,5 kV maximum), il sera détruit.

### Deuxième solution. Interconnexion entre la référence de l'électronique et la référence du parafoudre



Le raccordement à la masse de l'électronique est également réalisé séparément mais une interconnexion a été ajoutée entre l'électronique et la référence du parafoudre.

On suppose ici que le courant de choc se divise symétriquement sur les deux connexions de masse L1 et (L2+L3).

L'application de la loi des mailles donne :

$$U_E = U_{res} + U_{L3}$$

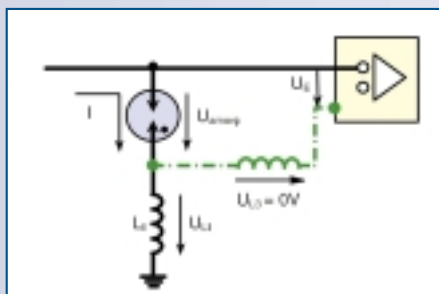
$$= U_{res} + (L3 \cdot \Delta i / \Delta t)$$

$$= U_{res} + (3 \text{ m} \cdot 1 \mu\text{H/m}) \cdot (2 \text{ kA} / 8 \mu\text{s})$$

$$= U_{res} + 750 \text{ V}$$

Le matériel n'est pas détruit mais il supporte un choc important. Pour minimiser les chocs, il est impératif de limiter au maximum la distance entre la protection et l'électronique.

### Troisième solution. Référence de l'électronique raccordée directement sur le parafoudre



Ici, le raccordement à la masse de l'électronique est réalisé directement sur le parafoudre.

L'application de la loi des mailles donne :

$$U_E = U_{res} + U_{L3}$$

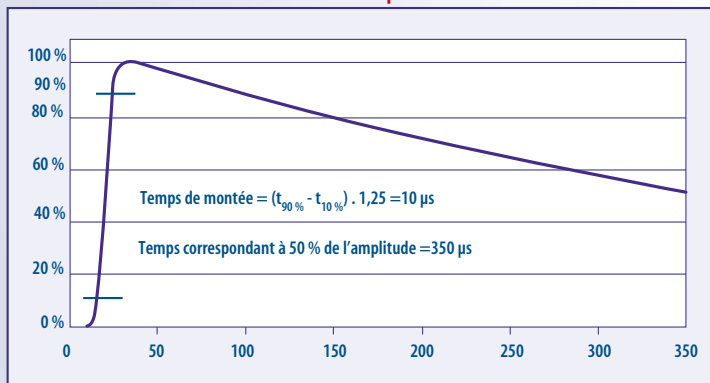
Aucun courant ne circule au travers de l'inductance L3 si bien que la tension  $U_{L3}$  a une valeur nulle.

$$\text{Ainsi } U_E = U_{res}$$

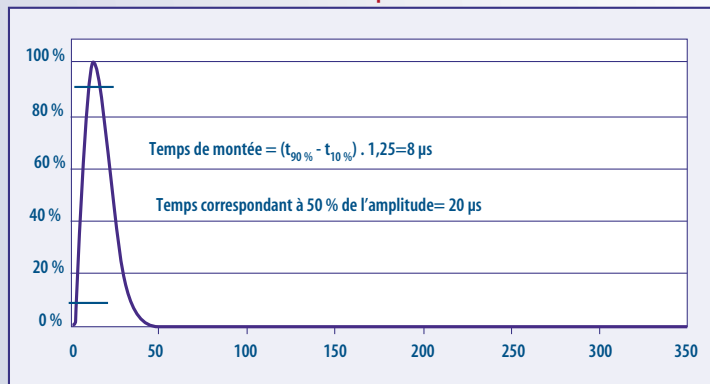
Cette solution apporte une bonne protection. Il est tout de même important de veiller à limiter la distance entre la protection et l'électronique afin d'éviter les risques de couplage.

## Les ondes de chocs normalisées

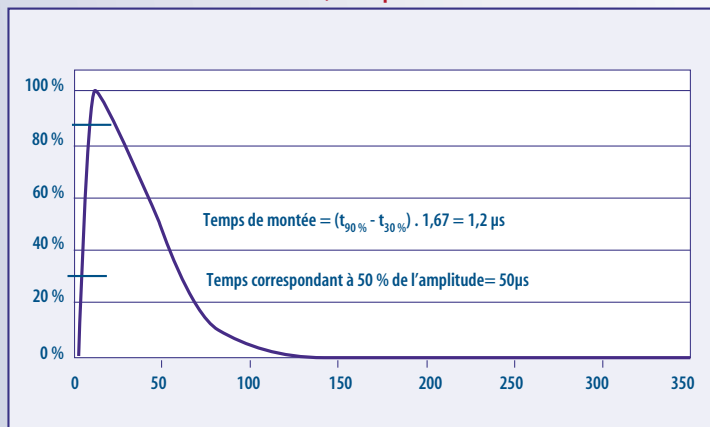
10/350  $\mu$ s



8/20  $\mu$ s



1,2/50  $\mu$ s



Lorsque la foudre "tombe", elle provoque des impulsions de courant au niveau des installations électriques. Le choc que reçoivent les équipements dépend de l'endroit où la foudre est tombée par rapport au bâtiment et de l'endroit où se trouve l'équipement à l'intérieur du bâtiment. Pour représenter les différents types de chocs (et pour spécifier les parafoudres), plusieurs types d'ondes de chocs ont été normalisés.

me permanent, autrement dit la tension efficace qui peut être appliquée à 50 Hz entre les bornes du parafoudre, sans affecter son fonctionnement. Citons aussi  $U_p$ , qui est la tension résiduelle qui subsiste aux bornes du parafoudre lorsque celui-ci est parcouru par son courant nominal de décharge.

### ... et trois classes de parafoudres pour s'adapter au cas par cas

Il existe trois classes de parafoudres : les parafoudres de type 1, les parafoudres de type 2 et les parafoudres de type 3. Les parafoudres basse tension doivent être conçus conformément à la norme CEI 61643-11.

**Type 1.** Les parafoudres "type 1" sont des parafoudres primaires qui offrent une tenue aux chocs de foudre directs. Ils sont testés suivant l'onde de choc de forme 10/350  $\mu$ s. Leur rôle consiste à limiter le courant de foudre à l'origine de l'installation électrique. Ce type de parafoudre type 1 est communément utilisé dans les applications à risques, stratégiques, où il est nécessaire d'obtenir une grande fiabilité de protection.

Deux technologies sont en lice pour réaliser les parafoudres de type 1 : les éclateurs à décharge et les varistances montées en parallèle (ou une association de varistances et d'éclateurs à gaz). La technologie à éclateur à décharge offre l'avantage d'une meilleure tenue aux chocs (>50 kA) que la technologie à varistances (<15 kA). Cela permet de minimiser le risque de destruction du parafoudre (et limite donc les interventions de remplacement du parafoudre) qui entraîne un arrêt de l'installation électrique. Ce type de parafoudre privilégie donc la continuité de service. La technologie à varistances est plus communément utilisée pour les applications domestiques qui sont soumises aux obligations normatives mais pour lesquelles la continuité de service n'est pas un impératif. La norme NFC 15-100 impose que la tenue aux chocs minimale soit de 12,5 kA (pour une onde de choc 10/350) et que le niveau de protection soit au maximum de 2,5 kV.

**Type 2.** Les parafoudres "type 2" sont des parafoudres secondaires qui offrent une tenue aux courants de foudre indirects. Ils sont testés suivant l'onde de choc de forme 8/20  $\mu$ s. Leur rôle consiste à écrêter les surtensions afin qu'elles ne soient pas dangereuses pour les équipements électriques.

Ces parafoudres sont généralement constitués de varistances à haut pouvoir de décharge. Ils sont souvent débouchables pour en faciliter le remplacement puisqu'ils ont tendance à vieillir si les perturbations sont fréquentes.

## Eclateur ou varistance MOV ?

	Eclateur	Varistance MOV
Temps de réponse	Lent	Rapide
Tension résiduelle	Faible	Moyenne (680 V typique)
Tension de déclenchement	Elevée	Faible
Capacité à écouler l'énergie	Elevée	Moyenne
Courant de suite	Oui	Non
Application typique	Parafoudre Type 1	Parafoudre Type 2

*Les cases en vert indiquent ce qui est considéré comme étant un point fort*

On voit sur ce tableau que les éclateurs et les varistances MOV, deux des parafoudres les plus répandus, ont des caractéristiques très complémentaires. Les deux types de parafoudres sont en général présents sur les installations, offrant une protection en cascade (le premier parafoudre absorbe une bonne partie de l'énergie mais ne suffit pas toujours pour protéger les équipements électroniques. Le second parafoudre, placé à proximité de l'équipement, apporte cette protection).

**Type 3.** Il existe également des parafoudres "type 3" qui sont des protections terminales. Ces parafoudres sont destinés aux équipements très sensibles tels que des automates programmables, des appareils de mesure ou encore des unités centrales de détection incendie ou intrusion, qui nécessitent souvent une continuité de service élevée. Les parafoudres "type 3" sont généralement raccordés à proximité immédiate (et en amont) de l'équipement. Ils se présentent sous la forme de prises individuelles ou multiples, ou sous forme modulaire.

### Un paramètre important, l'inductance des câbles

Pour concevoir une installation de parafoudres, il suffit d'appliquer les lois de base qui régissent le fonctionnement de l'électronique, lesquelles sont relativement simples

et connues. Il n'est malgré tout pas si simple de bien les appliquer. C'est le constat que l'on peut dresser lorsque l'on expertise des installations qui subissent des dégâts récurrents : on s'aperçoit que les règles les plus élémentaires sont rarement respectées...

A l'inverse, les problèmes de CEM (compatibilité électromagnétique) sont souvent considérés comme complexes et réservés aux techniciens les plus avertis alors que bien souvent les solutions sont simples et ne reposent que sur le bon sens.

Les modes de raccordement des liaisons équipotentielles s'avèrent d'une importance capitale. A 50 hertz, il est difficile de constater des différences notoires entre les méthodes de raccordement des masses, de terre et des écrans. Par contre, dès que la fréquence augmente, on s'aperçoit rapidement que les calculs ne prenant en compte que les résistances

des circuits ne suffisent pas et qu'il faut considérer les inductances de ces circuits.

Pour se faire une meilleure idée des fréquences mises en jeu, considérons une surtension de type 8/20  $\mu$ s. Si on assimile le front de montée à une demi-alternance d'une oscillation sinusoïdale ( $T/4$ ), il en résulte une période d'oscillation de  $T \approx 4 \times 8 \mu s = 32 \mu s$ . La fréquence correspondante ( $1/T$ ) est de 31,25 kHz. Ce n'est pas énorme, mais cela impose de tenir compte de l'inductance des liaisons électriques. Pour un conducteur en cuivre rond, l'inductance est de l'ordre de 1  $\mu$ H/m. L'inductance totale d'un conducteur de longueur  $l$  est donc :  $L = 1 \cdot l \mu$ H/m.

La chute de tension dans une inductance est donnée par la loi  $U = L \cdot di/dt$ , où  $di/dt$  est la vitesse de variation du courant (raideur du front de montée). Pour avoir une bonne idée de la valeur  $di/dt$  d'une onde de choc, on peut en première considération prendre la pente de la "meilleure droite" correspondant au temps de montée et remplacer  $di/dt$  par  $\Delta i/\Delta t$ .

Les montages de parafoudres comportent plusieurs câbles de liaison. L'application de la loi des mailles, qui stipule que la somme des chutes des tensions dans une maille est nulle, permet de connaître la tension que subit l'équipement protégé par le parafoudre. ensuite, il va sans dire que le choix du montage est déterminant.

Olivier Péllissier  
 Chef de produits Trabtech  
 Phoenix Contact

## Impact du régime de neutre sur les caractéristiques du parafoudre

	Schéma de mise à la terre du réseau									
	TT		TN-C		TN-S		IT			
							avec neutre distribué		sans neutre distribué	
Parafoudre connecté entre :	$U_c$	$U_T$	$U_c$	$U_T$	$U_c$	$U_T$	$U_c$	$U_T$	$U_c$	$U_T$
- le conducteur de phase et le conducteur neutre	1,1 $U_0$	1,45 $U_0$	N.A.	N.A.	1,1 $U_0$	1,45 $U_0$	1,1 $U_0$	1,45 $U_0$	N.A.	N.A.
- chaque conducteur de phase et le conducteur de protection (PE)	1,1 $U_0$	$\sqrt{3} U_0$	N.A.	N.A.	1,1 $U_0$	1,45 $U_0$	$v3 \cdot U_0^*$	$v3 \cdot U_0^*$	Tension entre phases*	Tension entre phases*
- le conducteur neutre et le conducteur de protection (PE)	$U_0^*$	$U_0^*$	N.A.	N.A.	$U_0^*$	$U_0^*$	$U_0^*$	$U_0^*$	N.A.	N.A.
- chaque conducteur de phase et le conducteur protection+neutre (PEN)	N.A.	N.A.	1,1 $U_0$	1,45 $U_0$	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

N.A. : non applicable -  $U_0$  est la tension simple du réseau à basse tension - \*Ces valeurs sont relatives aux conditions les plus défavorables de défaut

$U_c$  est la tension maximale à 50 Hz que peut supporter le parafoudre en permanence.

$U_T$  est la tenue aux surtensions temporaires dues aux manœuvres sur le réseau HT.

Ce tableau tiré de la norme NFC 15-100 montre que les niveaux de tension que doit supporter le parafoudre dépendent beaucoup du schéma de liaison à la terre (régime de neutre) de l'installation.