

Choix de la section des câbles associés aux parafoudres

La foudre produit dans les installations électriques des impulsions électriques de durée très brève par rapport aux échelles de temps habituellement pratiquées (<1ms), mais avec des amplitudes élevées (>qqkA).

Le calcul de la section de câble nécessaire à l'écoulement de ce type de courant est principalement lié à l'amplitude des courants attendus (par essence aléatoire dans le cas de la foudre) mais la présence du déconnecteur associé au parafoudre dans la majorité des cas ajoute des contraintes de calcul.

Contexte technique et normatif

Les parafoudres ne conduisent que lors du passage de la surtension de foudre dont la durée et inférieure à 10ms cette durée très brève n'induit pas d'échauffement significatif sur les câbles de section suffisante. Une contrainte d'échauffement supplémentaire peut venir d'un courant de suite ou d'un courant de fuite important suivant la technologie de parafoudre utilisée.

Deux méthodes de calculs sont présentes dans les normes applicables au domaine de la protection foudre :

Suivant NFC15-100 / UTEC15-443

Le paragraphe 434.5.2 de la NF C 15-100 indique comment choisir une protection contre les courts-circuits afin qu'aucun échauffement dangereux n'affecte les conducteurs. Ce choix est basé sur la relation suivante :

$$k^2 S^2 > I^2 t$$

Où

- k est un coefficient de température relatif au câble dépendant du métal et de l'isolant dont la valeur est 115 pour du cuivre avec isolant PVC (*ce coefficient tient compte d'une température de départ de 70°C, ce qui est très supérieure aux températures normales des conducteurs des parafoudres compte tenu qu'aucun courant permanent ne les parcourt, le calcul inclus donc une marge de sécurité dans le cas des parafoudres*).
- S la section du fil en mm²
- I²t est la valeur de l'énergie que laisse passer le dispositif de protection

La valeur I²t est une caractéristique des fusibles, dans le cas de court-circuit de durée courte (<0.1s), ce qui est le cas si le fusible est sollicité suite à un amorçage du parafoudre.

Le calibre de fusible de déconnexion maximum conseillé en fonction du type de parafoudre varie de 25 à 500A (Type 2 avec In 5kA ou Type 1 limp 50kA). L'utilisation d'un calibre élevé peut entraîner la sollicitation des organes de coupure en amont du parafoudre si le courant de suite ne peut être éliminé par le parafoudre seul. L'utilisation d'un calibre trop faible peut conduire à une déconnexion du parafoudre pendant la surtension ou sur un courant de suite qui aurait pu être éliminé par le parafoudre seul.

Les valeurs typiques d'I²t des fusibles cylindriques sont reportées dans le tableau ci-dessous, ces valeurs peuvent varier en fonction du constructeur. Les sections minimales choisies à la valeur immédiatement supérieure parmi les valeurs normalisées correspondant au résultat du calcul sont reportées dans le tableau ci-dessous :

Section minimale en fonction du calibre de fusible pour des surcharges de courte durée

Calibre (type gG)	I ² t	Section mini (mm ²)	Calibre (type gG)	I ² t	Section mini
25A	800	0.6	100A	24000	1.5
32A	1300	0.6	125A	40000	2.5
40A	2500	0.6	160A	60000	2.5
50A	4200	0.6	200A	100000	4
63A	7500	0.75	250A	200000	4
80A	14200	1.5	315A	300000	6

La norme C15-100 recommande une section de 4mm² pour le raccordement de terre des parafoudres de type 2 et 10mm² pour les parafoudres de type 1 (§534.1.3.4) et ne fait pas de prescription pour les câbles raccordés au conducteurs actifs de l'installation. Dans le guide C15-443 la section minimale des câbles raccordés aux conducteurs actif est de 4mm² pour les parafoudres de type 2 et 10mm² pour les parafoudres de type 1.

NB : ces sections sont surtout utiles pour les parafoudres présents en tête d'installation où un courant d'écoulement important est attendu. Dans les tableaux divisionnaires une section de 2.5mm² pour les parafoudres de type 2 est techniquement acceptable et notamment pour les tableaux divisionnaires de faible puissance alimenté par un câble de section 2.5mm².

Suivant NF EN 62305

Le courant de foudre lui-même peut également être source d'échauffement pour les câbles parcourus et la norme NFEN62305-1 propose un calcul d'élévation de température basé sur l'amplitude et la forme d'onde du courant par rapport à la section du câble.

La formule est la suivante :

$$\theta - \theta_0 = \frac{1}{\alpha} \left[\exp \frac{\frac{W}{R} \cdot \alpha \cdot \rho_0}{q^2 \cdot \gamma \cdot C_w} - 1 \right]$$

Pour un conducteur cuivre les constantes sont les suivantes :

Où

- W/R est l'énergie spécifique de l'onde (même unité que I²t)
- α est le coefficient de température du métal (3.92 x 10⁻³ pour le cuivre)
- ρ₀ est la résistance ohmique du conducteur à t° ambiante (17.8 x 10⁻⁹ Ωm pour le cuivre)
- γ est la densité du métal (8920 kg/m³ pour le cuivre)
- C_w est la capacité thermique du métal (500J/kg.K pour le cuivre)
- Θ_s est la température de fusion du métal (1080°C pour le cuivre)

Estimation de W/R en fonction du type de parafoudre.

$$W/R = I_{imp}^2 \times b \quad \text{où} \quad b = 2,5 \times 10^{-4} \text{ s}$$

$$W/R = I_n^2 \times b' \quad \text{où} \quad b' = 2 \times 10^{-5} \text{ s}$$

Le cas le plus critique est celui des Type 1 car le courant impulsionnel en onde 10/350µs représente une énergie plus importante pour la même amplitude qu'une onde 8/20µs.

Pour choisir la section du câble on fixe une élévation de température maximale de 50°C, soit une contrainte tout à fait raisonnable pour des fils de câblage à isolant PVC dont la température admissible en permanence sur l'âme est généralement supérieure à 70°C, soit $\Theta - \Theta_0 < 50^\circ\text{C}$ pour une température ambiante de 20°C.

I _{imp} (kA)	Section mini (mm ²)	I _{imp} (kA)	Section mini (mm ²)
1	0.6	18.75	4
5	1	25	6
10	2.5	33	6
12.5	2.5	50	10
16.7	4	100	16

La norme NF EN 62305-3 et -4 recommande d'utiliser des câbles de section minimale 6mm² pour la mise à la terre des parafoudres de type 2 et 16mm² pour la mise à la terre des parafoudres de type 1 et pour la réalisation des équipotentielles intérieures principales.

Ces valeurs sont également supérieures aux sections minimales issues du calcul dans la plupart des cas, seul le cas du conducteur de terre des parafoudres type 1 dans les bâtiments équipés de paratonnerre de niveau I correspond (avec hypothèse haute I_{total} 200kA 10/350µs dont 50% est réparti sur un seul parafoudre).

NB : L'harmonisation des normes européenne va conduire à des exigences identiques entre la C15-100 et les normes spécifiques à la protection foudre sur ce point i.e. 6mm² pour le raccordement à la terre des parafoudres de type 2 et 16mm² pour les parafoudres type 1.

La norme NFEN62305-4 ne fait aucune prescription sur la section des câbles connectés aux conducteurs actifs.

Conclusion

Les câbles utilisés pour le raccordement des parafoudres doivent pouvoir écouler le courant de foudre sans échauffement exagéré et également le courant de défaut en cas de fin de vie en court-circuit du parafoudre. Dans ce dernier cas le calibre du déconnecteur associé peut guider le choix de la section de câble à utiliser dans des cas particulier (fort I_{cc} en amont par exemple) mais les sections prescrites par les normes couvrent en général tous les cas de figure.

Les exigences normatives actuelles sont donc les suivantes :

- Pour les parafoudres de type 2 : 6mm² pour le conducteur de terre et 4mm² pour les conducteurs raccordés aux conducteurs actifs pour les parafoudres situés en tête d'installation.
- Pour les parafoudres de type 1 : 16mm² pour le conducteur de terre et 10mm² pour les conducteurs raccordés aux conducteurs actifs pour les parafoudres situés en tête d'installation.

Dans le cas de parafoudres utilisés pour la protection à proximité des équipements et pour lesquels la section des câbles d'alimentation et/ou de mise à la terre disponible est inférieure à 6mm^2 pour un parafoudre de type 2, l'utilisation de câble 6mm^2 n'a pas de justification technique et une section de 2.5mm^2 est suffisante, bien que qu'une section supérieure facilite l'écoulement du courant.

Seuls des cas spécifiques peuvent nécessiter un calcul de la section de câble minimale. On peut citer le cas où le courant de court-circuit est très faible et le temps de déconnexion par le déconnecteur associé peut être sensiblement allongé en fonction des caractéristiques de ce dernier ou les installations industrielles avec I_{cc} importants pour lesquelles la section de câble peut être adaptée au calibre du déconnecteur utilisé notamment pour les parafoudres de type 1. Les longueurs de câbles étant généralement faible pour respecter la règle des 50cm et les surcharges étant toujours de courte durée (fin de vie en court-circuit du parafoudre) des sections de câble plus importantes que celles mentionnées dans les normes sont rarement techniquement utiles.