

RETOUR D'EXPERIENCE FRANCAIS DES PARAFONDRES DE DISTRIBUTION A ENVELOPPE SYNTHETIQUE

Frédéric MACIELA
EDF-DER Les Renardières
F-77818 Moret-sur-Loing (France)
Tel : +33 1 60 73 73 47 - Fax : +33 1 60 73 69 56
E-mail : frederic.maciela@edfgdf.fr

Patrick LE ROUX
EDF-DEGS / CETE
17, Place des Reflets
F-92080 PARIS LA DEFENSE

Christian GAZZOLA
FERRAZ
Rue Vaucanson
F-69720 Saint-Bonnet-de-Mure

Frédéric MALPIECE
SOULE Matériel Electrique
33 avenue du Général Leclerc
F-65203 Bagnères-de-Bigorre

Serge TARTIER
SEDIVER
F-03270 Saint-Yorre

Résumé

Ce document présente les principales exigences techniques pour les parafoudres installés sur les réseaux de distribution EDF. L'importance d'essais de type adaptés pendant la qualification est démontrée pour pouvoir sélectionner des produits de haute qualité. En particulier, une attention spéciale doit être portée à la fois au vieillissement de l'enveloppe synthétique et à l'étanchéité du parafoudre, en plus de ses propriétés électriques de base.

Notre retour d'expérience (environ 800000 parafoudres installés depuis 1992) montre clairement un comportement très satisfaisant, avec un taux d'avarie d'environ 0.03% par an. Les causes d'avaries sont détaillées et expliquées.

PARAFONDRES DE DISTRIBUTION EDF : PARAFONDRES A ENVELOPPE SYNTHETIQUE

Au début des années 90, EDF a décidé d'installer des parafoudres à enveloppe synthétique sur ses réseaux de distribution. Ce choix a suivi deux paliers techniques précédents, à savoir les parafoudres au carbure de silicium et éclateurs (associés à un déconnecteur) et les parafoudres à enveloppe porcelaine et oxyde métallique. Ces appareils étaient lourds et encombrants, et les conditions d'installations n'étaient pas optimisées (bretelles de raccordement longues). De plus, ces conceptions sont plus sensibles à la pénétration d'humidité, et nécessitent une procédure d'assemblage très soignée lors de la fabrication.

Les raisons principales du passage à la technologie synthétique correspondent à des améliorations significatives des produits eux-mêmes (meilleure performance associée à une conception plus simple, à un comportement plus sûr en cas de défaillance, à une facilité de mise en oeuvre sous tension) et à une optimisation de l'installation (meilleure efficacité) et des coûts.

DIMENSIONNEMENT ELECTRIQUE

Principes généraux

Le bon comportement des parafoudres, quelle que soit la technologie employée, dépend principalement du dimensionnement électrique qui doit satisfaire les conditions d'exploitation.

Contraintes électriques permanentes

Le dimensionnement pour la tension de service permanent et pour les surtensions temporaires a été conduit en prenant en compte le fait que les parafoudres seraient installés sans éclateur ni déconnecteur. Donc, la partie active du parafoudre (varistances à oxyde métallique) et l'enveloppe synthétique sont continuellement sous tension. La fiabilité de tous les composants des parafoudres doit être irréprochable.

Au moment où les parafoudres à enveloppe synthétique ont été développés, la mise à la terre du neutre EDF était effectuée par une résistance de limitation. Cependant, EDF avait un futur projet de mise à la terre du neutre par une impédance de compensation, ce qui pourrait autoriser le fonctionnement du réseau même en cas de défaut monophasé, conduisant à une augmentation de tension des autres phases. La tension assignée a donc été choisie à une valeur plutôt élevée (24 kV assignés pour une tension nominale du réseau de 20 kV) de façon à ce que les parafoudres puissent supporter une augmentation significative de tension pendant une durée assez longue.

Vieillessement des varistances

Comme les varistances à oxyde métallique sont continuellement sous tension, un vieillissement peut intervenir, et des varistances de haute qualité doivent être utilisées. Toutes les varistances utilisées dans les parafoudres EDF ont subi avec succès un essai de vieillissement 1000h à 115°C dans une enceinte remplie d'azote. A cause de sa propriété d'oxydoréduction, ce gaz est particulièrement agressif pour les varistances, et c'est également une façon de vérifier que le revêtement et la métallisation sont adaptés.

Dispositif supplémentaire : l'indicateur de défaut

En cas de défaillance, le parafoudre maintient un court-circuit permanent sur la ligne puisqu'il ne dispose pas de déconnecteur. Ce choix a été fait pour éviter de laisser sur le réseau des parafoudres avariés. Ce mode d'exploitation n'est acceptable que si les parafoudres sont très fiables. Chaque parafoudre est équipé d'un indicateur de défaut pour faciliter sa localisation en cas d'avarie. La sensibilité de l'indicateur de défaut est compatible avec les valeurs très basses de courant de court-circuit (15 A) que l'on peut rencontrer sur des réseaux compensés.

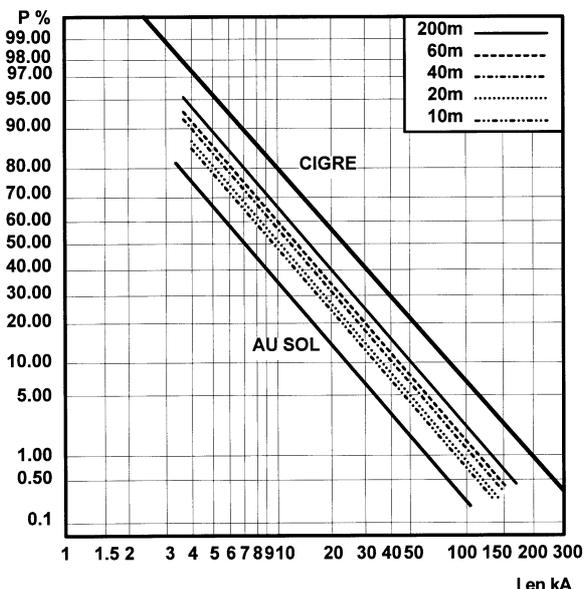
CAPACITE D'ABSORPTION D'ENERGIE : UNE PROPRIETE DE BASE POUR ATTEINDRE UN HAUT NIVEAU DE QUALITE

Sur les réseaux de distribution, les principales contraintes sont dues aux surtensions de foudre. Pour concevoir des parafoudres de distribution, il est nécessaire de déterminer l'amplitude du courant et la durée des chocs de foudre traversant les parafoudres installés sur le réseau, et d'estimer l'occurrence de ces chocs.

Paramètres du dimensionnement énergétique en choc de courant de foudre

Valeur crête des chocs de courant de foudre

La hauteur des lignes de distribution est comprise entre 5 et 6 mètres par rapport au sol. Afin de déterminer l'amplitude des chocs de foudre, les courbes statistiques ci-dessous sont couramment utilisées. Elles tiennent compte des chocs positifs et négatifs pour des structures élevées (comme des tours ou des cheminées), et nous considérons que les amplitudes pour les réseaux de distribution doivent être prises entre les courbes « 10 mètres » et « au sol ».



Formes d'onde des chocs de foudre

Le temps de queue (appelé tq) des chocs de courant de foudre est réparti comme suit :

- 95 % des chocs avec $tq > 30 \mu s$
- 50 % - - avec $tq > 75 \mu s$
- 5 % - - avec $tq > 200 \mu s$.

Non-linéarité de l'empilage de varistances

Pour être capable d'évaluer l'énergie dissipée dans un parafoudre, il faut tenir compte de la résistance non-linéaire des varistances à oxyde métallique. Les résultats de calculs d'énergie sont donnés pour l'onde « 4/10 μs » standard de l'essai CEI de fonctionnement combiné :

- 29 kJ pour une valeur crête de courant de 40 kA
- 52 kJ pour une valeur crête de courant de 65 kA.

Des calculs ont également été faits pour d'autres formes d'onde :

- 4/75 μs , $\hat{i} = 10 \text{ kA}$ E = 56 kJ
- 4/200 μs , $\hat{i} = 5 \text{ kA}$ E = 70 kJ
- 4/200 μs , $\hat{i} = 10 \text{ kA}$ E = 152 kJ.

Ces résultats montrent qu'une quantité d'énergie importante peut être dissipée dans un parafoudre, même si la valeur crête du courant est faible, puisqu'elle dépend de la forme d'onde. Ce document considèrera que les énergies de référence sont 29 et 52 kJ pour des ondes 4/10 μs d'amplitudes respectives 40 et 65 kA.

Répartition du courant des chocs de foudre

Un autre paramètre important pour le dimensionnement énergétique est la valeur réelle du courant qui traverse le parafoudre. Cette valeur dépend principalement de :

- l'impédance de la mise à la terre
- la coordination d'isolement de la ligne (probabilité d'amorçage entre phases)
- la distance entre le parafoudre et le point d'impact.

Nous pouvons considérer 3 hypothèses : le courant à travers le parafoudre est égal soit à If, If/2 ou If/3, où If est la valeur crête du choc de foudre direct.

Le niveau kéraunique : une approche probabiliste du dimensionnement énergétique

En France, où le niveau kéraunique moyen est d'environ 22.5, et pour les réseaux de distribution, la fréquence des foudroiements directs est d'environ 0.018 par an et par poste.

Si nous considérons les probabilités associées à l'amplitude crête et les formes d'onde des chocs de foudre, le tableau suivant peut être dressé :

Courant	If / 3 Simple choc	If / 3 Multiples chocs	If / 2 Simple choc	If / 2 Multiples chocs	If Simple choc
Capacité énergét. (kJ)	29 / 52	29 / 52	29 / 52	29 / 52	29 / 52
Prob. d'avarie (‰)	1.9 / 1.0	2.1 / 1.3	2.5 / 1.5	2.9 / 2.0	3.9 / 3.0

La dernière ligne de ce tableau donne la probabilité de surcontrainte énergétique pour des parafoudres de

distribution pour deux classes de dimensionnement (29 et 52 kJ) pour un niveau céramique moyen de 22.5

Ces calculs indiquent qu'un parafoudre conçu avec une capacité d'absorption d'énergie de 52 kJ (correspondant à une onde 4/10µs d'amplitude 65 kA) présente un risque d'avarie inférieur à 0.2%, et plus probablement proche de 0.1%.

Cette méthode de calcul a été utilisée à EDF pour atteindre un compromis entre le risque d'avarie et la performance énergétique du parafoudre. Le choix a été fait de concevoir des parafoudres de distribution à oxyde métallique capables d'absorber une onde 4/10µs - 65kA, en considérant qu'un taux d'avarie de 0.1% était acceptable pour la qualité de service.

AUTRES PARAMETRES IMPORTANTS POUR LA FIABILITE DES PARAFOUDRES A ENVELOPPE SYNTHETIQUE

En plus de la performance électrique spécifiée, les parafoudres à enveloppe synthétique doivent être étanches et le vieillissement possible de l'enveloppe doit réellement rester maîtrisé pour garantir un comportement satisfaisant pendant la durée de vie attendue. Pour le vérifier, une évaluation technique des produits, accompagnée de procédures d'essais rigoureuses et de sanctions pertinentes, autorise l'obtention de très bons résultats.

Étanchéité à l'eau du parafoudre

La pénétration d'humidité est la pire chose qui puisse arriver. En effet, ce phénomène ne peut pas être facilement détecté en réseau, et il conduit inévitablement à une défaillance électrique du parafoudre.

L'étanchéité des parafoudres doit être garantie dans toutes les conditions (sous chargement mécanique, cycle thermique, ...). La corrosion des pièces métalliques ne doit pas non plus altérer l'étanchéité.

La future norme CEI pour les essais de type de parafoudres à enveloppe synthétique spécifiera un essai complet pour vérifier l'étanchéité et les propriétés thermo-mécaniques. Les parafoudres de distribution ont été qualifiés à EDF dans le même esprit, c'est à dire en utilisant des séquences d'essais incluant un pré-conditionnement mécanique, une immersion dans l'eau bouillante pendant 42 heures et des vérifications électriques.

De plus, le constructeur doit être capable de parfaitement contrôler les étapes de fabrication afin de garantir l'étanchéité du parafoudre.

Vieillessement de l'enveloppe synthétique

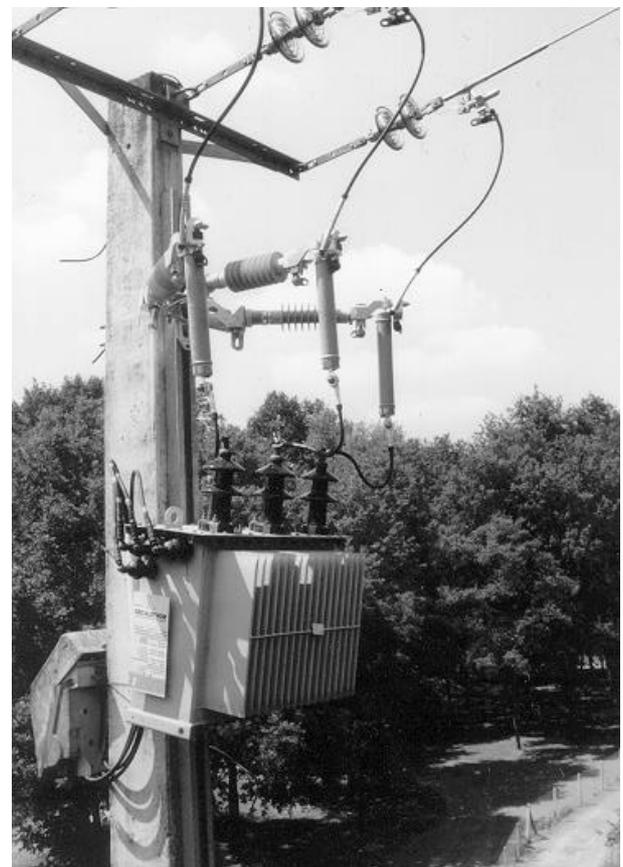
Tous les matériaux synthétiques sont soumis au vieillissement qui peut affecter l'étanchéité et l'isolation

des enveloppes. Depuis de nombreuses années, EDF a mené des études et des comparaisons entre le vieillissement naturel et des essais de vieillissement accéléré. Beaucoup de matériaux ont été essayés pendant plusieurs années dans le laboratoire EDF de vieillissement naturel de Martigues, situé sur la côte méditerranéenne près d'un complexe pétro-chimique. La pollution peut y atteindre des niveaux très élevés. Des cycles de vieillissement accélérés ont été appliqués sur les mêmes matériaux aux laboratoires des Renardières.

La principale conclusion de ces investigations est qu'un essai de vieillissement accéléré doit appliquer à l'enveloppe en essai des contraintes combinées, typiquement des U.V., du brouillard salin, de la pluie, des cycles de température et de la pluie. La procédure d'essai utilisée à EDF est l'essai de vieillissement accéléré 5000 heures décrit dans la norme CEI 1109.

Temps (h)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
TENSION	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
PLUIE	X											
CHAUFFAGE		X	X				X	X				X
HUMIDITE			X					X				
BR. SALIN				X	X				X	X		
U.V.	X	X				X	X				X	X

Cycle quotidien CEI 1109 de vieillissement climatique (essai 5000h)



Cette photographie montre un transformateur protégé par des parafoudres à enveloppe synthétique (horizontaux) et des fusibles en pont (verticaux)

RETOUR D'EXPERIENCE

Organisation du retour d'expérience

EDF a mis au point une organisation pour collecter des données de retour d'expérience pour les parafoudres à enveloppe synthétique. Les principales caractéristiques de cette organisation, qui fonctionne depuis 1992, sont les suivantes :

- chaque défaillance de parafoudre est directement enregistrée par les exploitants sur une fiche d'avarie qui donne des informations sur le lieu, la date d'installation, les conditions atmosphériques au moment de l'avarie, et tous les autres éléments intéressants
- toutes les fiches d'avarie sont triées
- les parafoudres avariés correspondant à une défaillance électrique, ou à un nouveau type d'avarie, sont envoyées à la Direction des Etudes et Recherches d'EDF pour expertise (incluant des essais électriques)
- les parafoudres avariés correspondant à des défaillances connues sont directement envoyés chez les constructeurs pour expertise
- chaque année, EDF et les constructeurs se rencontrent pour analyser la situation et dressent des statistiques.

Principaux résultats

Environ 800000 parafoudres à enveloppe synthétique ont été installés sur les réseaux de distribution EDF depuis 1992. Le taux d'avarie de ces parafoudres est très faible (0.03% par an).

Les défaillances électriques (sur-contrainte énergétique des varistances) représentent moins de 0.005% par an.

Toutes les autres avaries sont liées à des problèmes mécaniques (par exemple grippage d'écrou au moment de l'installation), à des amorçages provoqués par des branches d'arbres ou à des fonctionnements intempestifs d'indicateurs de défaut.

Aucun défaut d'étanchéité ou de vieillissement d'enveloppes synthétiques n'a été rapporté, et aucun amorçage ne s'est produit à cause de la pollution. EDF reste très attentif sur ces trois points, à cause de leur grande importance sur la fiabilité des parafoudres.

CONCLUSION

Le retour d'expérience EDF des parafoudres à enveloppe synthétique est très positif. Aucun problème ayant de sérieuses conséquences sur l'exploitation du réseau n'a été enregistré jusqu'à maintenant.

La capacité énergétique des varistances (5 kA de courant nominal de décharge, 65 kA de tenue aux chocs de grande amplitude) conduit à un comportement électrique des varistances très satisfaisant.

Ces bons résultats semblent pouvoir être expliqués par une qualification sélective des parafoudres, des procédés de fabrication rigoureux, et un retour d'expérience organisé où chaque avarie est enregistrée et analysée avec les constructeurs.