

## PARAFOUDRE À ENVELOPPE SYNTHÉTIQUE : VIEILLISSEMENT NATUREL

**Christian GAZZOLA  
FERRAZ**

**28 rue saint Philippe  
F- 69003 LYON**

**Tel : +33 4 72 22 67 79 - Fax : +33 4  
72 22 67 13**

**E-mail : marketing\_ferraz  
compuserve.com**

**Christian PUSINERI  
RHODIA SILICONES  
55 rue des Frères Perret  
F-69191 Saint-Fons**

**Pierre PECCOUX  
RHONE POULENC  
INDUSTRIALISATION  
85 avenue des Frères Perret  
F-69192 Saint-Fons**

### RESUME

Depuis le début du développement de parafoudres ou d'isolateurs utilisant des enveloppes isolantes en matériau synthétique, une des grandes difficultés a été de définir une corrélation entre le vieillissement accéléré en laboratoire et le vieillissement naturel en réseau. Dans ce but l'objet de cette contribution est de présenter d'une part une étude sur le vieillissement naturel de parafoudres à enveloppe en silicone à partir du retour d'expérience des parafoudres FERRAZ installés sur le réseau de distribution moyenne tension français depuis 1992 et d'autre part, de comparer les dégradations observées naturellement avec les dégradations produites par différents types d'essais de vieillissement accéléré.

### PRESENTATION DU PARAFOUDRE A ENVELOPPE SYNTHETIQUE

Le parafoudre à enveloppe synthétique FERRAZ, comme le décrit la figure N°1 est constitué principalement d'un empilage de céramiques à base d'oxyde de Zinc et d'une enveloppe en silicone de type RTV directement surmoulée sur celles-ci.

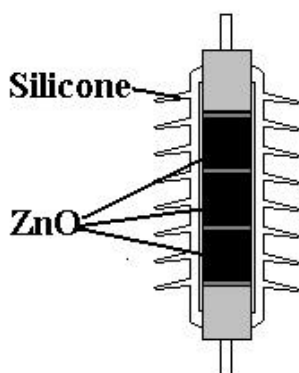


Figure N°1

Les paramètres importants relatifs aux diverses contraintes de vieillissement dont nous reparlerons dans les chapitres suivants sont :

- pour la tenue à la pollution : le gradient de tension de service exprimé en kV/cm qui est le rapport de la

tension de service permanent du parafoudre par la longueur de la ligne de fuite de l'enveloppe. Dans le cas des parafoudres étudiés ce rapport est de 0,167 kV/cm

- pour les caractéristiques d'hydrophobie de l'enveloppe, importantes pour la tenue diélectrique sous pluie ou sous pollution : l'angle de goutte exprimé en degré qui, pour le silicone étudié, est compris entre 105 et 110°

### ETUDE SUR LE VIEILLISSEMENT NATUREL

Cette étude comporte trois parties :

- la première qui présente des résultats de mesures de courants de fuite superficiels et de durées de transitions hydrophobes au court d'essais effectués sur des parafoudres vieillis naturellement.
- la seconde regroupe des résultats de mesure de caractéristiques mécaniques d'éprouvettes de matériau d'enveloppe prélevées sur des parafoudres vieillis naturellement et des éprouvettes vieillis artificiellement.
- la troisième présente enfin des résultats d'analyse sur des éprouvettes de matériau prélevées sur des parafoudres vieillis naturellement et des parafoudres vieillis artificiellement.

### Mesure de courants de fuite superficiels et de durées de transitions hydrophobes

Les pertes de caractéristiques provoquées par le vieillissement naturel sont principalement dues à l'action du rayonnement Ultraviolet sur les molécules composant la surface du matériau de l'enveloppe et à l'action de la pollution.

Concernant l'action des UV : elle détruit la liaison chimique SiO et provoque ainsi une oxydation du matériau en surface. Le matériau perd ainsi ses propriétés d'isolement. La conséquence directe de cette dégradation est une moins bonne tenue aux brouillards salins et à la pollution qui se traduit par une augmentation du courant de fuite superficiel qui transite à la surface de l'enveloppe sous l'effet de la tension de service.

L'autre effet important est celui de la pollution qu'elle soit saline, industrielle ou organique (algues, champignons etc). Le dépôt d'une couche de polluant sur l'enveloppe modifie les propriétés de surface de son matériau, en particulier son caractère hydrophobe. Dans ce cas la conséquence est la même que pour l'effet du rayonnement UV, c'est l'augmentation du courant de fuite superficiel. La durée correspondante à cette augmentation est la durée de transition hydrophobe. Définissons plus précisément cette dernière caractéristique : un matériau de type silicone neuf et parfaitement propre est totalement hydrophobe, l'eau à sa surface forme des gouttes bien séparées, le courant de surface transite mal entre les zones humide disjointes, il est donc de faible valeur. Par contre si le matériau a perdu son caractère hydrophobe l'eau s'étale à sa surface et le courant de fuite passe plus facilement, il augmente. Ainsi en cas de conditions prolongées de brouillard polluant la surface du matériau passe d'un comportement hydrophobe à un comportement hydrophile définissant ainsi une durée de transition. Cette durée est plus ou moins longue selon le matériau et son état de vieillissement.

Nous venons de voir qu'un des paramètres importants pour juger du vieillissement d'un matériau est la variation du courant de surface quand le parafoudre est soumis à une tension. Cependant cette dégradation de surface n'est mise en évidence qu'en présence de conditions particulières de pollution et d'humidité, on ne peut la détecter sur une enveloppe parfaitement sèche sans présence de polluant.

C'est pourquoi nous avons utilisé pour notre étude comme critère de comparaison de vieillissement du type « Tracking wheel test » décrit en autre dans la norme Canadienne LWIWG-01 « Dead - end / suspension Composite Insulator for Distribution Lines ».

Selon cette procédure d'essais le parafoudre se trouve dans quatre situations différentes à chaque cycle .

- Dans la position 1 le parafoudre reste sous tension pendant 60 secondes de telle manière qu'il y est création de décharges superficielles.
- Dans la position 2 le parafoudre se refroidit.
- Dans la position 3 le parafoudre est immergé dans une solution saline afin de créer une couche de polluant.
- Dans la position 4 le parafoudre est égoutté

• Les paramètres de l'essai sont :

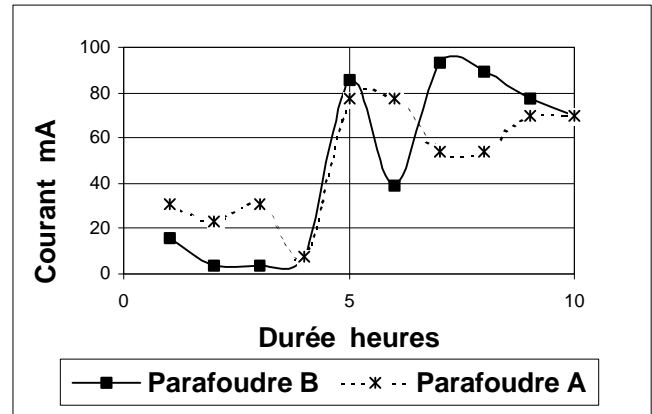
- Gradient de tension sur le matériau : 0.276 kV/cm.
- Conductivité de la solution saline : 1000 microsiemens
- Durée d'essai : 150 heures minimum

L'échantillon de parafoudres utilisé dans l'étude a été prélevé sur le réseau français après 5 ans de service en zone bord de mer.

Parafoudre A : 5 ans de service en zone bord de mer

Parafoudre B : parafoudre étalon du même lot de fabrication que les précédents

Le réseau de courbes suivant représente le courant de fuite superficiel de chaque parafoudre en fonction de la durée d'essai.



L'étude de ces courbes montre clairement qu'il n'y a aucune différence de comportement entre le parafoudre non exposé et le parafoudres prélevé en réseau.

Les durées de transitions hydrophobes sont équivalentes, environ 5 heures, et les valeurs de courants de fuite aussi de l'ordre de 100 mA.

Du point de vue caractéristique d'isolement, il n'y a donc pas de vieillissement prématuré après 5 années de service en zone exposée.

### Mesure de caractéristique mécanique sur éprouvettes de matériau d'enveloppe

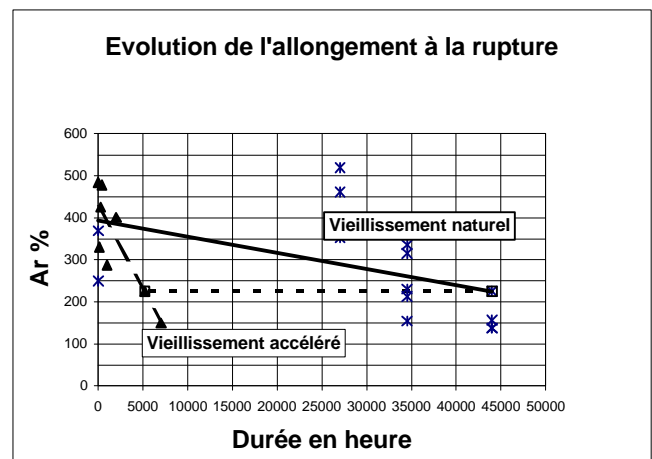
La caractéristique choisie comme paramètre de mesure est l'allongement à la rupture  $A_r$  exprimé en %. Les éprouvettes de matériau d'enveloppe ont été extraites de parafoudres prélevés dans les conditions suivantes :

3 Parafoudres A : 5 ans de service en zone du sud de la France

5 Parafoudres B : 4 ans de service en zone bord de mer

3 Parafoudres C : 3 ans de service en zone industrielle

1 Parafoudres D : parafoudre étalon ayant subi un essai de vieillissement climatique en étuve de type Xénotest selon la norme NFT 460-042 d'une durée de 5200 heures.



Du diagramme précédent, qui fait évidemment apparaître un vieillissement plus rapide lors de l'essai accéléré, nous pouvons faire les observations suivantes :

- La durée de mise en service est le facteur prédominant plutôt que le site d'installation.
- Nous pouvons établir une corrélation entre ce type d'essai et le vieillissement naturel et définir un facteur d'accélération de l'essai en comparant les cinétiques d'évolutions de la caractéristique étudiée

En ce qui concerne l'allongement à la rupture le facteur d'accélération peut être estimé à :

$$K_{Ar} = 44000/5200 = 8.5$$

Un vieillissement de 20 ans pourrait ainsi être simulé par un essai climatique de 20000 Heures ( environ 2 ans )

### Analyse d'éprouvettes de matériau d'enveloppe

Ces enveloppes de parafoudres sont composées de silicone liquides (LSR). Leurs caractéristiques principales sont données ci-après ; à la base ces élastomères silicone appartiennent à la classe des dérivés polydiméthylsiloxane renforcés

Viscosité (A+B) mPA.s	Dureté ShA	Contrainte à la rupture Mpa	Tenue au déchirement kN/m	Allongement à la rupture %
90 000	57	6	12	200

### Méthodes de diagnostique

La plupart des caractérisations de surface ont été pratiquées sur un échantillon de parafoudre ayant 5 ans de service en réseau.

- Méthodes SEM et de profilométrie pour la caractérisation de la morphologie de surface. Le profilomètre est du type. Mutituyo Surfrest 301 : la rugosité est mesurée avec une pointe diamant de 5 µm sur une surface de 2.5 x 2.5 mm. La profondeur maximale Ry et la moyenne arithmétique Ra des profils observés ont été déterminées. Ces observations ont été pratiquées sur des surfaces lavées à l'éthanol pour caractériser la surface du silicone sans polluant. La surface des échantillons choisis ont été observées avec un microscope électronique du Hitachi Z800 après métallisation à l'or.
- Spectroscopie « Single Réflexion Diamond ATR » pour mettre en évidence toute modification de la composition chimique visible avec cette technique de spectrométrie IR. Un spectromètre Perkin Elmer-1760 FTIR a été utilisé. Des couches superficielles de 0.6 mm x 2 mm x 2 µm peuvent être observées avec cette méthode à simple réflexion
- Le caractère hydrophobe des matériaux a été caractérisé par la mesure de l'angle statique de contact. Cette mesure a été pratiquée avec de l'eau. Le profil de goutte est analysé par voie optique à l'aide d'un microscope vidéo: Olympus DMS 300. De plus pour estimer le potentiel de capacité de recouvrance

d'hydrophobie restant après 5 ans d'exposition à l'extérieur, les quantités et les caractéristiques physico-chimiques des huiles silicones libres ont été déterminées par spectrométrie IR des solvants extractibles et GPC.

Dans tous les cas les caractéristiques des matériaux exposés ont été comparées à celles d'échantillons de silicone non exposés prélevés sur un parafoudre neuf ou sur des plaques moulées avec le même matériau.

### Résultats

L'aspect général de l'un des deux parafoudres est visible sur la Figure 2a. Il n'y a pas de signe apparent d'érosion ou de cheminement sur les ailettes. La présence de polluant sous la forme de particules de quelques microns peut être vue sur toute la surface et quelques zones sont contaminées par des micro-organismes.

- Caractéristiques physico-chimiques de la surface  
Les figures 2a et 2b représentent typiquement la surface du matériau respectivement pour un parafoudre exposé et non exposé. A cette échelle il n'y a pas de traces visibles ni d'érosion ni de cheminement; cette observation est cohérente avec les données déjà publiées[1]. D'autre part de petites particules sont présentes sur la surface de l'échantillon exposé. Ces particules peuvent être lavées à l'éthanol ; l'analyse du spectre IR montre que ce sont des particules de silicate.

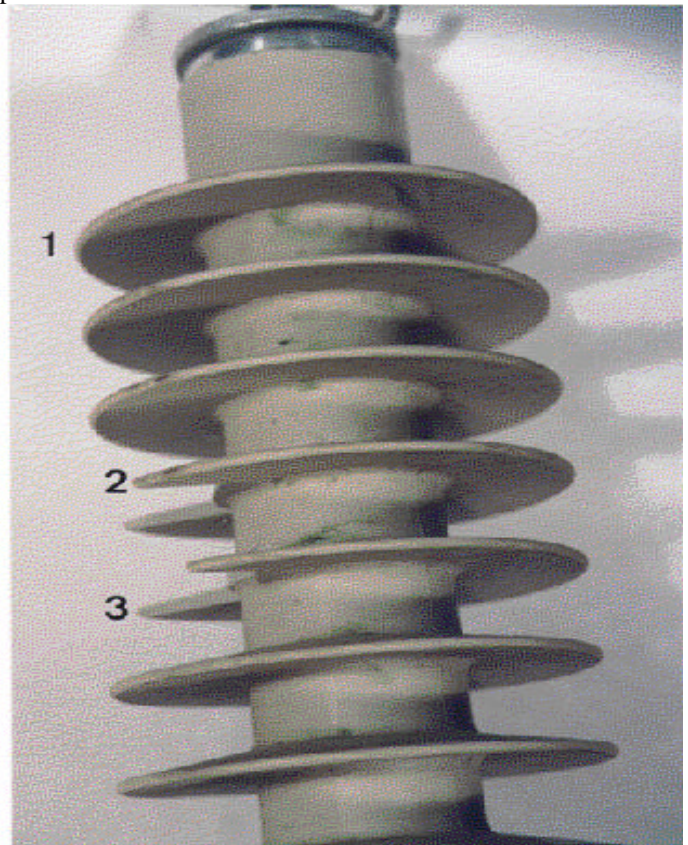


Figure 2a

Vue générale de la partie supérieure de l'échantillon

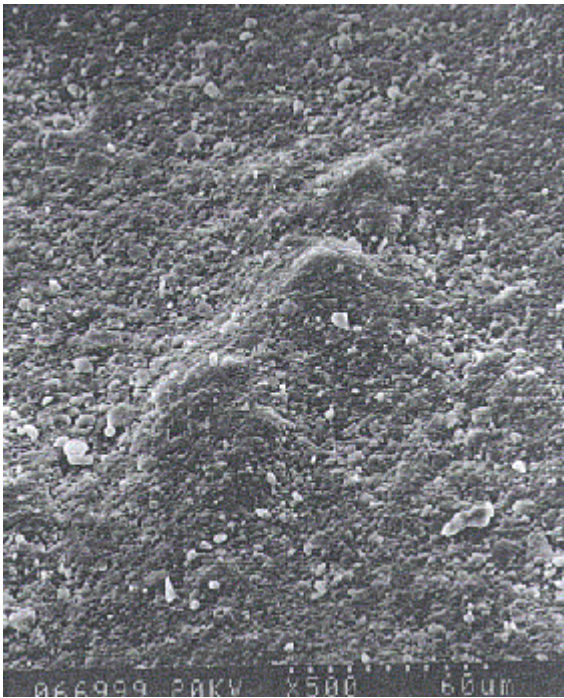


Figure 2b  
image SEM de l'échantillon 2 (partie supérieure)

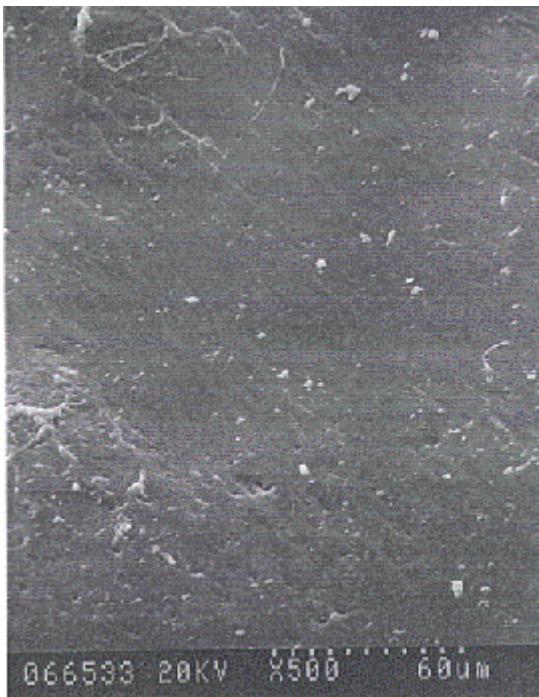


Figure 2c  
Image SEM de la surface de l'échantillon non exposé

De plus l'absence de dégradation à cette échelle est confirmée par les résultats de la profilométrie. Pour les paramètres choisis Ra et Ry, la microrugosité de l'échantillon exposé est très proche des caractéristiques d'une plaque de 2 mm d'épais préparée par moulage.

Matériau	Ra $\mu\text{m}$	Ry $\mu\text{m}$
Plaque	0.62	4.5
Parafoudre (échantillon n°1)	0.74	5.3

Si nous comparons le spectre IR de la face supérieure de l'échantillon 2 du parafoudre exposé avec le spectre IR d'un échantillon similaire prélevé sur un parafoudre non exposé on peut noter les commentaires suivant :

Les bandes d'absorption principales correspondent à la structure de l'élastomère silicone polydiméthylsiloxane renforcé. Par exemple les bandes à  $2962\text{ cm}^{-1}$  et à  $1007\text{ cm}^{-1}$  correspondent respectivement aux groupes CH<sub>3</sub> et Si-O-Si. Dans le cas de l'échantillon exposé on peut noter la présence de la bande à  $3696\text{ cm}^{-1}$ .

Comme on l'a mentionné auparavant cela correspond au polluant silicate. La présence de ce silicate pourrait être responsable de la faible déformation de la bande d'absorption à  $1007\text{ cm}^{-1}$ . Aucune autre différence significative n'est à noter.

#### Hydrophobicité

Les résultats ci-après de mesures de l'angle de contact montrent que les valeurs qui ont été trouvées sur l'échantillon exposé 5 ans sont plus grandes que les valeurs habituelles obtenues couramment sur les matériaux polydiméthylsiloxane. Ces mesures étant effectuées sur des surfaces polluées, elles devraient être le résultat de la présence de particules de silicate qui forment des micro hétérogénéités diminuant ainsi la mouillabilité apparente. Qui plus est ce niveau d'hydrophobicité suggère que ces particules de silicate sont recouvertes d'une couche d'huile silicone. Le dépôt de poudre de kaolin sur la surface de ce type de matériau fait baisser la valeur de l'angle de contact à des niveaux de  $40^\circ$ - $50^\circ$ .

Matériaux	Plaque moulée	Echantillon 2	Echantillon 3
Angles de contact	$107^\circ$ $108^\circ$	$115.4^\circ$ $115.2^\circ$	$115.7^\circ$ $116^\circ$

La capacité des élastomères silicone à recouvrir leur caractère hydrophobe est liée à la présence d'huiles silicone [2, 3, 4] qui ne sont pas intégrées dans la chaîne de polymère et qui peuvent migrer à la surface. Dans le contexte de cette hypothèse, la durabilité de l'élastomère serait liée à la quantité d'huiles silicone libres quelque soit leur origine.

Les échantillons d'ailettes prélevés sur les parafoudres exposés et non exposés ont été traités à l'hexane. Les deux échantillons contiennent environ la même quantité d'huiles extractibles : 2.8 % et 2.7 % respectivement pour l'échantillon exposé et l'échantillon non exposé. De plus les analyses IR et GPC du matériau extrait montrent qu'il contient 85% d'huile polydiméthylsiloxane de même poids moléculaire.

## CONCLUSIONS

Les résultats de ces trois études effectuées sur des parafoudres ayant 5 ans de service ne montrent aucune dégradation des caractéristiques électriques et physico-chimiques du matériau. Ces données confirment la bonne résistance de ce type de silicone aux agressions climatiques et électriques. De plus l'élastomère silicone contient toujours des huiles silicone libres qui lui maintiennent son caractère hydrophobe d'origine.

[1] - SÖRQVIST T. and al., Surface ageing and its impact on the performance of polymeric insulator, 9<sup>th</sup> ISH, P. 3234-1, 1995

[2] - Prof. Dr-Ing KÄRNER H. and al., Hydrophobietransfer und Lebensdauer des Hydrophobieeffekts, ETG-Fachbericht, vol. 69, p.21, 1997.

[3] - RIQUEL G., Natural and artificial ageing of non-ceramic insulators : Evaluation of diagnostic techniques, 9<sup>th</sup> ISH, P. 3188-1, 1995.

[4] - HOMMA H and al., Diffusion of low molecular weight siloxane from bulk to surface, Conf record of the Int. Symp on electrical insulation, 1996.