

RHODORSIL[®] HUILE 604 V 50

Emploi dans les transformateurs immergés

Description

Dans les transformateurs immergés, on utilise actuellement, pour assurer l'isolation et le refroidissement, des diélectriques liquides :

- Huiles minérales présentant l'inconvénient d'être combustibles.
- Huiles silicones, esters...

Le **RHODORSIL HUILE 604 V 50** est un diélectrique liquide constitué par un polydiméthylsiloxane dont la pureté est spécialement contrôlée pour usages en électrotechnique.

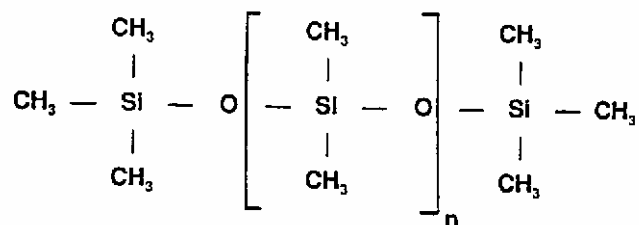
De ce fait, le **RHODORSIL HUILE 604 V 50** est principalement utilisé comme milieu d'isolation et de refroidissement des transformateurs et d'une façon plus générale pour tout le matériel moyenne tension (caissons de commutateurs, selfs, capacités, résistances, etc.) lorsque se posent des problèmes d'environnement ou de sécurité vis-à-vis de l'incendie : lieux publics, agglomérations, souterrains, proximité des cours d'eau...

Le **RHODORSIL HUILE 604 V 50** offre les avantages suivants :

- Propriétés diélectriques élevées.
- Excellente stabilité thermique.
- Inertie et résistance chimiques remarquables.
- Bonnes propriétés de transfert des calories.
- Non propagation de l'incendie.
- Absence de danger pour l'homme et l'environnement.

Caractéristiques générales - Identification

Le **RHODORSIL HUILE 604 V 50** est un polydiméthylsiloxane linéaire répondant à la formule générale :



Pour un fluide de viscosité 50 mm²/s, le nombre « n » de motifs Si O (CH₃) est de 40 environ et la masse moléculaire est de 3 200 environ.

Les caractéristiques générales pouvant servir à l'identification du produit sont regroupées dans le tableau n°1. D'autres caractéristiques, plus spécifiquement liées à l'utilisation en tant que fluide diélectrique, sont données dans les tableaux suivants :

RHODORSIL® HUILE 604 V 50

- Tableaux 2 à 5 : Propriétés diélectriques.
- Tableau 6 : Transfert de chaleur.
- Tableaux 7 et 8 : Risque de feu.
- Tableau 9 : Compatibilité avec les matériaux.

TABLEAU N°1

Caractéristiques générales

- Aspect liquide limpide
- Coloration Hazen 30 max.
- Odeur néant
- pH, env. 6,7
- Densité à 25 °C, env. 0,960
- Viscosité 25 °C, mm²/s, env. 50
- Point d'éclair, °C, (norme AFNOR NF T 60 118)..... 280 min.
- Point de congélation, °C, env. - 50
- Indice de réfraction à 25 °C, env. 1,402
- Tension superficielle à 25 °C, mN/m, env. 20,7
- Matières volatiles (24 h à 150 °C), % 0,5 max.

Propriétés diélectriques

Quatre critères interviennent dans le choix d'un diélectrique pour transformateurs :

- Constante diélectrique faible.
- Tangente de l'angle de perte faible.
- Résistivité volumique élevée.
- Surtout une rigidité diélectrique élevée.

Ces quatre facteurs sont réunis par le **RHODORSIL HUILE 604 V 50** comme le montre le tableau n°2.

1. Pertes diélectriques

La constante diélectrique et la tangente de l'angle de perte donnent une indication sur l'énergie dissipée dans un diélectrique sous forme de chaleur.

A noter que pour l'HUILE 604 V 50 l'élévation de température conduit à une baisse de la constante diélectrique -élément favorable- la tangente delta n'étant pratiquement pas modifiée dans le domaine considéré.

2. Rigidité diélectrique**2.1. Méthodes de mesure**

Deux méthodes sont couramment employées pour mesurer cette grandeur :

- Méthode CEI 5 ⁽¹⁾ avec électrodes sphériques ou en calotte sphérique.
- Méthode ASTM ⁽²⁾ avec électrodes planes.

RHODORSIL® HUILE 604 V 50

TABLEAU N°2

Propriétés diélectriques

| | RHODORSIL HUILE 604 V 50 | HUILE MINERALE |
|---|---|--------------------------------|
| Constante diélectrique à 50/60 Hz, • à 25 °C • à 75 °C • à 100°C (normes CEI 247 - AFNOR NF C 27 210) | 2,7 2,6 2,5 | 2,2 -- -- |
| Tangente de l'angle de perte à 50/60 Hz, • à 23 °C • à 75 °C • à 100 °C (normes CEI 247 - AFNOR NF C 27 210) | 3.10 ⁻⁵ max. 5.10 ⁻⁵ 3.10 ⁻⁵ | 1.10 ⁻⁴ -- -- |
| Résistivité volumique, en Ω.cm, (normes ASTM D 1169, CEI 247 et AFNOR NF C 27 210) • à 23 °C • à 75 °C • à 100 °C | 1.10 ¹⁵ min. 8.10 ¹⁴ 1.10 ¹⁴ | 2,5.10 ¹³ |
| Rigidité diélectrique, en kV à 23 °C ⁽³⁾ • Suivant norme ASTM D 877 (électrodes planes écartement 2,54 mm) • Suivant publication CEI n° 156 (norme AFNOR NF C 27 221) (électrodes sphériques écartement 2,5 mm) | 40 min. 50 min. | 40 à 55 50 à 70 |

(1) : Publication CEI n°156 ou AFNOR NF C 27 221.

(2) : Norme ASTM D 877.

(3) : Selon la littérature, la rigidité diélectrique demeurerait inchangée jusqu'à 150 °C.

N.B. : Les valeurs indiquées dans ce tableau, comme dans les suivants, pour l'huile minérale résultent soit de mesures, soit d'indications de la littérature : elles doivent donc être considérées comme des ordres de grandeur, et sont susceptibles de varier suivant la qualité ou l'origine du produit.

RHODORSIL® HUILE 604 V 50

Avec les électrodes arrondies type CEI, la distance est minimale, uniquement entre les deux points extrêmes des calottes. Dès que l'on s'écarte de ces points, la longueur du chemin à parcourir par l'arc augmente : c'est donc seulement un très mince filet de liquide joignant ces points extrêmes qui est soumis au champ maximum.

Au contraire, avec les électrodes planes type ASTM, tous les points d'une électrode sont à égale distance de l'électrode opposée. C'est donc tout un cylindre de liquide ayant pour section de base la surface des électrodes qui est soumis au champ. Le volume qui subit l'essai est bien plus important que précédemment, la probabilité de rencontrer un défaut est bien plus grande et le résultat est systématiquement plus faible. Grossièrement, on peut s'attendre à un facteur de 1,2 à 1,5 entre les résultats par ces deux méthodes.

Il est donc important de toujours bien indiquer la méthode utilisée.

2.2. Influence de l'humidité

En cours de fabrication, le **RHODORSIL HUILE 604 V 50** est dégazé sous vide à haute température et ne contient plus que quelques mg/kg (ou ppm) d'eau. Cependant, il faut noter que les huiles Silicones, exposées à l'air humide, se mettent rapidement en équilibre avec celui-ci en absorbant de l'humidité grâce à la grande facilité de diffusion des gaz et vapeurs dans les Silicones en général. La quantité d'eau absorbée est proportionnelle à l'humidité relative de l'air (loi de HENRY).

Il faudra donc s'entourer de précautions pour prélever et analyser un échantillon d'huile Silicone sans risque de pollution par l'humidité atmosphérique. On peut, par exemple, suggérer de réserver un flacon spécial ou une ampoule à robinets de 20 à 30 ml pour le seul dosage de l'eau.

On évitera également de laisser inutilement ouverts les emballages entamés.

D'autre part, la solubilité de l'eau dans le **RHODORSIL HUILE 604 V 50** est plus élevée que dans les autres diélectriques. On observe, à la saturation, les valeurs suivantes en mg d'eau/kg de diélectrique (ou ppm).

TABLEAU N°3

Solubilité de l'eau dans les diélectriques ⁽¹⁾

| Température | Teneur en eau, mg/kg | |
|-------------|-----------------------------|-------------------|
| | RHODORSIL HUILE 604 V 50 | HUILE MINERALE |
| °C | | |
| 0 | -- | 20 |
| 25 | 200 | 70 |
| 55 | 600 | 330 |

(1) Le dosage de l'eau par la méthode Karl Fischer n'est pas applicable dans le cas des huiles Silicones à cause d'une réaction secondaire. Une méthode modifiée a été mise au point par Rhône-Poulenc et est disponible sur simple demande.

RHODORSIL® HUILE 604 V 50

De ce fait, la teneur en eau à partir de laquelle la rigidité diélectrique est affectée est également plus élevée pour le **RHODORSIL HUILE 604 V 50** que pour les autres diélectriques. On a constaté, en effet, que le facteur décisif causant la chute de la rigidité diélectrique n'était pas la valeur absolue de la teneur en eau du diélectrique, mais le pourcentage de teneur en eau par rapport à la saturation.

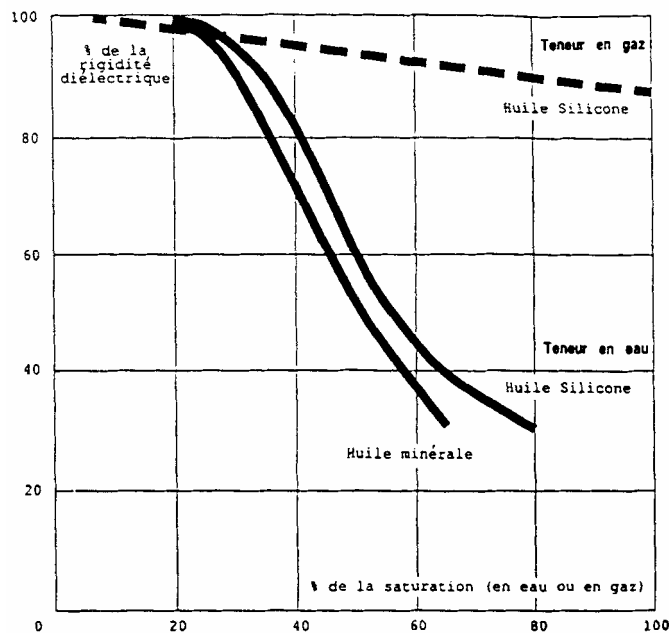
On a même pu montrer que si l'on adoptait comme système de coordonnées :

- en abscisse, la teneur en eau en % par rapport à la saturation,
- en ordonnée, la rigidité diélectrique en % par rapport à la rigidité diélectrique maximale du diélectrique parfaitement sec.

Le **RHODORSIL HUILE 604 V 50** avait un comportement identique ou même légèrement supérieur à celui d'une huile minérale (voir graphique n°1). Dans les deux cas, on n'observe pratiquement pas de chute de la rigidité diélectrique jusqu'à 40 % de la saturation.

GRAPHIQUE N°1

Evolution de la rigidité diélectrique en fonction de la teneur en eau ou en gaz.



Cela signifie que le **RHODORSIL HUILE 604 V 50** contenant 80 ppm d'eau (80 mg d'eau/kg d'huile) présente encore une rigidité diélectrique peu différente de celle d'une huile sèche. Au-delà, un traitement de dessiccation s'effectue comme pour les autres diélectriques, c'est-à-dire dans les mêmes installations et selon le même principe de chauffage sous vide ; il est complété par une filtration sur papier filtre sec. Il faut toutefois noter :

- Le **RHODORSIL HUILE 604 V 50** ayant une tension de vapeur tout à fait négligeable : moins de 1,3 Pa (10^{-2} mm Hg) à 200 °C pourra être traité sous le vide maximal permis par l'installation.
- Le **RHODORSIL HUILE 604 V 50** pouvant supporter des températures élevées (par exemple 180°C pendant plusieurs milliers d'heures) pourra être traité à la température maximale permise par l'installation.

RHODORSIL® HUILE 604 V 50

• Il est déconseillé de traiter dans une installation unique à la fois des huiles minérales et le **RHODORSIL HUILE 604 V 50** car la pollution par un peu d'huile minérale abaisse rapidement la résistance au feu du fluide Silicone, sans affecter exagérément les propriétés diélectriques, comme le montrent les chiffres suivants du tableau n°4.

Inversement, la présence de traces d'huile Silicone dans l'huile minérale ne nuit pas à ses propriétés générales, mais peut causer un moussage lors des opérations de séchage et de dégazage.

TABLEAU N°4

Propriétés des mélanges d'huile minérale pour transformateurs et de RHODORSIL HUILE 604 V 50

| Caractéristiques mesurées | Norme de mesure | HUILE* 604 V 50 | HUILE 604 V 50 | | HUILE MINERALE |
|--|---------------------|--------------------|------------------------------|------------------------------|----------------|
| | | | + 2 % d'huile minérale | + 5 % d'huile minérale | |
| Constante diélectrique | AFNOR NFC27210 | 2,70 | 2,70 | 2,68 | 2,20 |
| Tangente de l'angle de perte | AFNOR NFC27210 | 5.10^{-5} | 6.10^{-5} | $7,5.10^{-5}$ | $9,7.10^{-5}$ |
| Résistivité volumique $\Omega.cm$ | AFNOR NFC27210 | 1.10^{15} | $1,5.10^{14}$ | 9.10^{12} | $2,5.10^{13}$ |
| Rigidité diélectrique kV | AFNOR NFC27221 | 70 | 67 | 65 | 40 |
| Point d'éclair, °C, (coupe ouverte) | AFNOR NFT 60 118 | 315 | 247 | 216 | 145 |

2.3. Solubilité des gaz dans le RHODORSIL HUILE 604 V 50

Comme pour l'eau, on observe une solubilité des gaz plus grande dans le fluide Silicone que dans les autres diélectriques.

TABLEAU N°5

| Température | Solubilité, % (en volume) | | |
|-------------|---------------------------|-------|-----|
| | Oxygène | Azote | Air |
| °C | | | |
| 25 | 27 | 17 | 19 |
| 120 | 21 | 15 | 16 |

RHODORSIL® HUILE 604 V 50

En outre, le **RHODORSIL HUILE 604 V 50** se met très rapidement en équilibre avec l'atmosphère ambiante de sorte que, pratiquement, les mesures diélectriques se font toujours sur une huile saturée en air.

On a d'ailleurs pu montrer que la rigidité diélectrique était peu affectée par la teneur en gaz dissous : en reprenant les coordonnées du graphique n° 1 (voir page n° 6), on observe qu'une huile saturée en air conserve 90 % de la rigidité diélectrique qu'elle aurait eue en l'absence de gaz.

3. Résistivité volumique

La résistivité volumique du **RHODORSIL HUILE 604 V 50** est la plus élevée.

Transfert de chaleur

Le tableau n°6 rassemble les éléments de comparais on.

A l'intérieur d'un transformateur, deux phénomènes interviennent dans l'évacuation des calories : conduction et convection.

1. Conduction

Le transport de calories s'effectue de proche en proche sans aucun déplacement de matière. Pour un matériau donné, cette aptitude à ce type de transport de chaleur s'exprime par le coefficient de conductivité thermique.

Ce coefficient se révèle très favorable au **RHODORSIL HUILE 604 V 50** ; en effet, quand l'huile Silicone transporte 1 000 calories, dans les mêmes conditions l'huile minérale n'en transporte que 860.

L'HUILE 604 V 50 absorbe donc très bien et très vite les calories au contact d'une paroi chaude ou les transmet très bien au contact de la paroi froide. Mais un autre phénomène intervient, celui de la convection.

2. Convection

C'est un transport de chaleur dû au mouvement d'un fluide. Les éléments du fluide, en contact avec un matériau chaud, s'échauffent tout d'abord par conduction ; ensuite, ils emportent avec eux la chaleur emmagasinée et sont remplacés par d'autres qui s'échauffent à leur tour, etc. Peu à peu, le fluide voit ainsi sa température augmenter aux dépens de celle du matériau chaud.

Le mouvement du fluide peut être créé artificiellement (par pompe de circulation) ou il peut également être dû à la convection naturelle, c'est-à-dire provenir uniquement des différences de densité dues elles-mêmes aux différences de température : l'écart de température augmente la vitesse de circulation du fluide.

La variation plus forte de densité de l'Huile Silicone avec la température s'avère, dans ce cas, un élément très favorable.

Dans ces phénomènes de convection, trois facteurs essentiels interviennent :

- La viscosité du fluide diélectrique commandant sa circulation.
- La chaleur spécifique du fluide, conditionnant la quantité de calories transportées.
- Le coefficient de dilatation cubique.

RHODORSIL® HUILE 604 V 50

TABLEAU N°6

Transfert de chaleur

| | RHODORSIL HUILE 604 V 50 | HUILE MINERALE |
|--|---|-----------------------------|
| Viscosité cinématique ⁽¹⁾ mm ² /s, env. • à - 20 °C • à 0 °C • à 25 °C • à 100 °C | 140 85 50 16 | 720 125 25 3 |
| Viscosité dynamique ⁽²⁾ mPa.s, env. • à - 20 °C • à 0 °C • à 25 °C • à 100 °C | 141 83,8 48 14,2 | 657 112,7 22,2 2,3 |
| Densité à 25 °C, env. | 0,960 | 0,887 |
| Coefficient de dilatation cubique, K ⁻¹ , env. | 10,4.10 ⁻⁴ | 6,3.10 ⁻⁴ |
| Conductivité thermique ⁽³⁾ à 25 °C, W/(m.K), env. | 0,15 | 0,13 |
| Chaleur spécifique (4) • J/g.K, env. • J/cm ³ .K, env. | 1,525 1,46 | 2,04 1,81 |
| Point de congélation, °C, env. | - 50 | - 45 |

La viscosité dynamique est le produit de la viscosité cinématique par la densité.

(1) 1 mm²/s = 1cSt

(2) 1 mPa.s = 1cPo

(3) 1 W/(m.K) = 2,39.10⁻³ cal.cm/s.cm². °C

(4) 1 J/g.K = 0,239 cal/g. °C

2.1. Viscosité

C'est la viscosité qui rend plus ou moins aisée la circulation de l'huile et donc conditionne en partie l'évacuation des calories vers l'extérieur. La valeur à prendre en considération ici est celle de la viscosité à la température de fonctionnement ; or il est connu que la viscosité des huiles Silicones s'abaisse moins que celles des autres fluides, d'où un désavantage (voir graphique n°2).

On peut estimer, en gros, qu'à 100 °C, une huile Silicone circulera 5 à 6 fois moins vite qu'une huile minérale, toutes choses égales par ailleurs.

RHODORSIL® HUILE 604 V 50

Pour fixer les idées, on peut aussi remarquer que de 25 à 100 °C, une huile minérale voit sa vitesse de circulation multipliée par 5 ; une huile Silicone par 3 seulement.

Par contre, aux basses températures, la viscosité de l'huile Silicone est très inférieure à celle des huiles minérales, ce qui constitue un avantage lors de démarrages à froid (cas des transformateurs embarqués sur locomotives, par exemple). Voir courbe viscosité / température page 11.

2.2. Chaleur spécifique

La chaleur spécifique de l'huile Silicone est plus faible que celle d'une huile minérale, ce qui constitue un léger désavantage.

2.3. Coefficient de dilatation cubique

Le coefficient de dilatation cubique traduit l'influence de la température sur le volume d'un corps et par suite, sur sa densité : c'est sur l'huile Silicone que la température a l'effet le plus marqué.

A titre d'exemple, à 100 °C, une huile minérale subira - par rapport à 25 °C - une augmentation de volume (ou inversement une diminution de densité) de l'ordre de 5 %, l'huile Silicone de près de 8 %. Cette plus importante variation du volume avec la température amènera l'utilisateur à prévoir un volume d'expansion supérieur.

En contrepartie, les mouvements de convection sont favorisés.

Ainsi, on remarque que parmi les diverses grandeurs physiques mesurables définissant l'aptitude au refroidissement, une grandeur est nettement favorable au **RHODORSIL HUILE 604 V 50** : sa conductivité thermique.

Une autre est légèrement favorable : l'abaissement de la densité favorisant la convection. Les trois autres sont à la défaveur de l'huile silicone. Cependant, il faut garder présente à l'esprit l'idée que l'évacuation des calories se fait, en réalité, par transferts successifs :

- des enroulements au fluide,
- du fluide à la tôle,
- à travers la tôle,
- de la tôle à l'air.

Les deux derniers transferts ne sont pas fonction de la qualité du fluide diélectrique et le transfert tôle/air est de toute façon le plus mauvais, si bien que dans la pratique, c'est surtout lui qui limite le refroidissement.

On peut ainsi penser que le refroidissement par le **RHODORSIL HUILE 604 V 50** sera convenable.

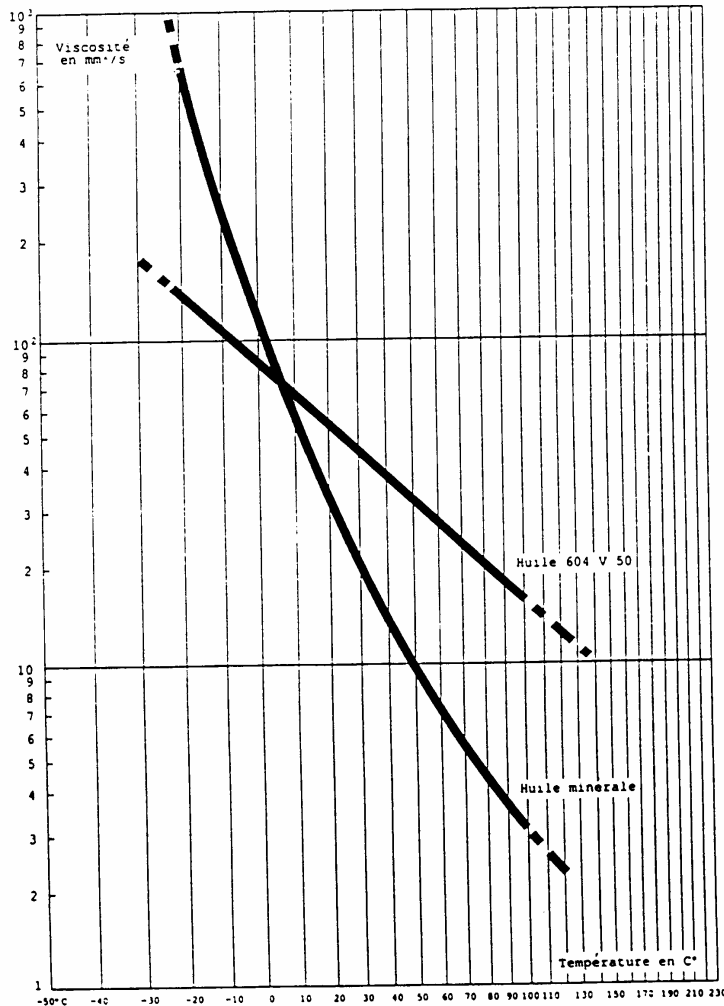
L'expérience montre effectivement que si l'on n'apporte aucun aménagement dans la construction du transformateur, le fait de remplacer l'huile minérale par l'huile silicone conduit à une température maximale plus élevée de 5 à 15 °C selon la charge et à une chute de température plus élevée dans les radiateurs, ce qui indique un débit plus faible.

Inversement, on peut conserver la même température de marche au seul prix de modifications mineures sur les diamètres de canaux et tuyauteries de circulation du diélectrique.

RHODORSIL® HUILE 604 V 50

GRAPHIQUE N°2

Variation de la viscosité en fonction de la température.



Comportement au feu

1. Tests classiques

Le tableau 7 rassemble quelques grandeurs connues intéressant l'évaluation du risque de feu.

Les points d'éclair, de feu et d'autoinflammation sont plus élevés que ceux de l'huile minérale. On remarque aussi que l'écart entre le point d'éclair et le point de feu est plus grand pour l'huile Silicone que pour l'huile minérale. Ces faits indiquent que la première sera plus difficile à enflammer.

L'indice limite d'oxygène (LOI) est la teneur maximale en oxygène nécessaire pour qu'une combustion amorcée se poursuive. l'air contenant 21 % d'oxygène, un corps avec un indice d'oxygène supérieur à 21 ne devrait pas brûler dans l'air.

RHODORSIL® HUILE 604 V 50

En réalité, les choses sont plus complexes : si on fournit suffisamment d'énergie, on arrive toujours à faire brûler un corps organique. Ce chiffre indique plutôt que si l'atmosphère s'appauvrit en oxygène, le corps sera d'autant plus facile à éteindre que son indice d'oxygène est plus élevé. On peut s'attendre à ce que l'huile Silicone s'éteigne plus facilement que l'huile minérale.

Un autre point important est la chaleur de combustion, car c'est elle qui contribue à entretenir l'incendie et qui est responsable des dégâts causés aux environs. Celle de l'huile Silicone est très faible, ce qui n'est pas surprenant compte tenu de sa composition rappelée en page 3 : dans le motif élémentaire Si O (CH₃)₂, la partie purement organique, formée des seuls groupes méthyles, ne représente que 40 % du poids total.

TABLEAU N°7

Risques de feu

| | RHODORSIL HUILE 604 V 50 | HUILE MINERALE |
|---|---|---------------------------|
| • Point d'éclair (coupe ouverte), °C, env. (norme AFNOR NF T 60 118) | 315 | 145 |
| • Point de feu, °C, env. (norme AFNOR NF T 60 118) | 360 | 165 |
| • Température d'autoinflammation, °C, env. | 440 | 330 |
| • Indice limite d'oxygène (LOI), % O ₂ , env. | 23 | 17 |
| • Chaleur de combustion, J/g, env. | 32 100 | 46 050 |
| • Tension de vapeur, Pa, env. à 50 °C à 85 °C à 200 °C | -- -- < 1,3 | 2 -- -- |

A remarquer également :

- La tension de vapeur extrêmement faible de l'huile Silicone : de l'ordre de 1 Pa, soit 1/100 de mm Hg, à 200 °C.
- Le squelette - Si O - de l'huile Silicone donne naissance, en cas de combustion, à de la silice dont la majeure partie reste à la surface du liquide, sous forme d'une croûte blanche isolante et protectrice.

Au vu de ces premières mesures, le « profil feu » de l'huile Silicone se dessine comme suit :

- Un produit difficilement inflammable.
- Une croûte de silice qui ralentit l'arrivée de l'oxygène et donc favorise l'extinction puisque l'indice d'oxygène est élevé.
- Une quantité de chaleur dégagée faible, et, en outre, une croûte blanche qui la réfléchit vers l'extérieur empêchant ainsi l'échauffement du liquide.
- Très faible émission de vapeurs.

RHODORSIL® HUILE 604 V 50

- Il faut enfin signaler que les fumées émises lors d'un feu d'huile Silicone sont très différentes de celles émises lors d'un feu d'huile minérale : elles sont blanches ou gris pâle (présence de silice), leur volume est très réduit, elles sont très peu denses et non toxiques (absence de CO). La consommation d'oxygène est, elle aussi, très réduite.

2. Tests de combustion

Toutes les informations précédentes donnent à penser que le risque de feu sera faible avec une huile Silicone, mais nous ne savons pas encore chiffrer ce risque, ni apprécier l'action sur ce qui est autour : c'est précisément pour atteindre ce but que les assureurs américains (Factory Mutual Research Corporation) ont conçu et réalisé un test qui peut être résumé comme suit :

- Dans un récipient plat et large, on enflamme le fluide soumis à l'essai.
- Au moyen de capteurs placés au-dessus du feu, on mesure la chaleur qui se dégage de l'incendie par convection. Cette quantité de chaleur convectée permet de calculer la hauteur minimale sous plafond de la salle destinée à contenir le transformateur.
- De la même façon, d'autres capteurs placés sur le côté mesurent la chaleur qui se dégage de l'incendie par rayonnement. Cette quantité de chaleur rayonnée permet de calculer la distance minimale entre le transformateur et les parois de la salle où sera installé le transformateur.

La description du test et les résultats obtenus ont été publiés dans différents documents par Factory Mutual Research Corporation ; nous en extrayons les chiffres du tableau 8 : chaleurs dégagées par convection et par rayonnement, distance minimale sous plafond et écartement minimal des parois pour un transformateur dont les caractéristiques seraient :

315 kVA - longueur 1,0 m - largeur 0,36 m.

TABLEAU N°8

Valeurs déterminées par Factory Mutual dans un incendie

| | Chaleur par convection kW/m² | Chaleur par rayonnement kW/m² | Distance minimale sous plafond (m) | Ecartement minimal des parois (m) |
|--------------------------|--|---|---|--|
| Huiles Silicones | 55/65 | 25/50 | 2 | < 1 |
| Huile minérale classique | 550 | 415 | 6 | 3 |
| Hydrocarbures lourds | 540/550 | 350/450 | 6 | 3 |

CONCLUSIONS DES ESSAIS DE FACTORY MUTUAL

Grâce à leur faible chaleur de combustion et à leur point de feu élevé, les huiles Silicones ne représentent qu'un risque d'incendie très réduit (« less flammable fluid »).

3. Action d'un arc

Comme pour tous les diélectriques, l'amorçage d'un arc libère une énergie considérable qui amène une décomposition partielle avec formation de gaz. De nombreux articles ont été publiés à ce sujet dans la littérature spécialisée.

RHODORSIL® HUILE 604 V 50**Tenue à la température**

La tenue thermique de l'huile Silicone est bien connue et tout à fait remarquable :

- par analyse calorimétrique différentielle, on note un début de réaction avec l'oxygène à 200 °C,
- par chauffage à l'air, à 175 °C, il y a risque de gélification seulement au bout de 6 000 heures (plus de 8 mois),
- chauffée à l'air, à 150 °C, l'huile Silicone est stable presque indéfiniment.

Il faut en outre se rappeler que la température d'emploi prévue dans les transformateurs est de l'ordre de 100 à 110 °C. Cette température, relativement modeste, est imposée par la tenue thermique des autres isolants (cellulosiques en particulier) utilisés dans les transformateurs (voir paragraphe suivant). Avec des isolants plus nobles, on peut concevoir des transformateurs fonctionnant à plus haute température, donc plus compacts, ce qui présente un très gros intérêt dans le cas du matériel embarqué

Tenue des matériaux isolants dans le RHODORSIL HUILE 604 V 50

En règle générale, le **RHODORSIL HUILE 604 V 50** est un mauvais solvant : il n'est donc pas agressif. Néanmoins, en présence des isolants habituellement rencontrés dans les transformateurs, deux phénomènes concomitants ou non peuvent se produire :

- attaque ou détérioration du matériau isolant,
- modification de l'aspect et/ou baisse des propriétés diélectriques de l'huile Silicone.

Pour prévenir ces risques, un grand nombre d'essais ont été effectués. Le principe en est l'immersion du matériau à tester dans l'huile, avec suivi des caractéristiques diélectriques et examen périodique du matériau et de l'huile.

Conditions : 18 semaines à 130 °C (ou 150 °C pour certains isolants nobles.

Sanction : Pas de modification d'aspect du matériau ni de l'huile, pas de variation sensible des propriétés diélectriques de l'huile.

Le tableau 9 suivant donne une liste des matériaux essayés à ce jour. La Société RHODIA CHIMIE est à la disposition de ses clients pour effectuer d'autres essais de compatibilité, si nécessaire.

COMPATIBILITE AVEC LES MATERIAUX

Les matériaux suivants ont été immergés pendant 18 semaines dans le **RHODORSIL HUILE 604 V 50**, maintenu à 130 °C. Il n'a pas été observé de modification d'aspect du matériau ou de l'huile, ni de variation sensible des propriétés diélectriques de l'huile

Matériaux flexibles

Nomex 410, 411, E 72 (testés à 150 °C)
 Papier Kraft
 Papier Insuldur
 Film Terphane
 Textinap (tissu de verre imprégné)

RHODORSIL® HUILE 604 V 50**Matériaux rigides**

Résines époxy :

- Araldite B/durcisseur 901
- Araldite F/durcisseur 905
- Araldite CY 206/durcisseur HY 842
- Araldite CY 205/durcisseur HY 843
- Araldite CY 205/durcisseur HY 956

Résines phénoliques

Permali (stratifié bois/résine phénolique).

Joints

Viton DF 801

Caoutchouc Butyle (référence Joint Français : D 806)

Liège + Néoprène (référence Cork Manuf. Co : Néolangite 50 et SB 300)

Des joints en caoutchouc nitrile n'ont pas tenu

Les joints en élastomère silicone gonflent

Peintures vernis

Rembrandtine RL 810

Isonel 51 (Schenectady)

Colles

Cyanoacrylique (réf. Loctite « Flash col »)

Bericol 201 et 209 NM (Bericol National)

Fils émaillés

Formal polyvinylique

Polyester imide

Polyester imide + couche de finition Polyimide amide

Remarque

La bonne tenue des papiers Nomex calandrés ou non (inchangés après 16 semaines d'immersion à 150 °C) est à souligner. C'est là l'exemple type de matériaux nobles qui permettraient de faire travailler les transformateurs emplis d'huile Silicone, à plus haute température, sans risques.

**Miscibilité du
RHODORSIL HUILE
604 V 50 avec l'huile
minérale**

Lorsqu'on se propose de remplacer le fluide diélectrique d'un transformateur par le **RHODORSIL HUILE 604 V 50**, il peut arriver que la vidange de la cuve ne soit pas totale. En outre, les isolants celluloseux poreux sont imprégnés du liquide d'origine qu'ils vont dégorger ensuite lentement. Il est donc intéressant de savoir que les deux fluides diélectriques sont miscibles en toutes proportions. On a vu précédemment la variation de certaines propriétés en fonction de la teneur du **RHODORSIL HUILE 604 V 50** en huile minérale.

**Entretien des
transformateurs -
Régénération du
RHODORSIL HUILE
604 V 50**

Le **RHODORSIL HUILE 604 V 50** n'est pas oxydable aux températures habituelles de fonctionnement des transformateurs et même bien au-delà. Il n'est pas corrosif, il n'attaque pas les autres matériaux isolants. On peut donc s'attendre à un bon fonctionnement prolongé sans problème.

RHODORSIL® HUILE 604 V 50

Il existe une Norme Internationale mise au point par la COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE, réf. IEC 944 intitulée « GUIDE DE MAINTENANCE DES LIQUIDES SILICONES POUR TRANSFORMATEURS ».

Ce guide préconise :

- Pour les transformateurs à respiration naturelle, un examen visuel tous les 6 mois pour s'assurer que les dispositifs de séchage restent efficaces. Si cette condition est remplie, la fréquence de vérification du liquide est suggérée tous les 5 ans.
- Pour les transformateurs entièrement étanches, une vérification du liquide tous les 5 ans au plus.

Si un traitement s'avère nécessaire, celui-ci pourra être :

- soit un traitement sous vide (60 - 80 °C - 10 mbar) suivi d'une filtration (5 à 10 µ),
- soit un traitement sur tamis moléculaire sec (température ambiante) suivi d'une filtration (5 à 10 µ).

Tenue des radiations

L'action des radiations sur les Silicones en général, produit une ionisation des molécules qui favorise la naissance de radicaux libres et le réarrangement des liaisons moléculaires. Il peut se produire à la fois une réticulation et une scission des chaînes moléculaires.

Sur les huiles polydiméthylsiloxanes du type **HUILE 604 V 50**, on sait que :

- la nature et la vitesse des radiations ont peu d'importance, le facteur déterminant étant la dose d'irradiation ⁽¹⁾,
- la température accélère l'effet des radiations.

D'une façon générale, l'action des radiations accroît la viscosité jusqu'à amener la formation d'un gel ⁽²⁾.

Cet accroissement de viscosité s'accompagne de la production de gaz (méthane, hydrogène).

Pour l'**HUILE 604 V 50**, on considère :

- Pour des doses de 1 à 3 Mégarads (3) : aucune action
- Pour des doses de 10 à 50 Mégarads : action limitée
- Pour des doses supérieures à 50 Mégarads :

C'est ainsi que par irradiation γ au débit de dose de 125 000 Rads/h (source cobalt 60), on a mesuré sur le **RHODORSIL HUILE 604 V 50** :

- Viscosité à 25 °C initiale : 51 mm²/s
- Viscosité à 25 °C après 50 Mégarads : 573,5 mm²/s
- Viscosité à 25 °C après 100 Mégarads : gélifiée

(1) En général, dans les essais d'irradiation, le débit de dose joue lui aussi un rôle ; dans le cas des huiles, ce rôle est vraisemblablement moins important.

(2) Pour les polydiméthylsiloxanes, l'action des radiations est d'autant plus néfaste que la viscosité est plus élevée.

(3) 1 Mégarad : 10⁸ ergs/gramme

RHODORSIL® HUILE 604 V 50**Action des huiles
Silicones sur
l'organisme et
l'environnement**

Les huiles polydiméthylsiloxaniques sont utilisées depuis près de quarante ans dans l'alimentation⁽¹⁾, la cosmétologie et la pharmacie, en raison de leur inertie physiologique.

Des études ont été publiées montrant qu'aucun effet nocif n'a été constaté sur l'environnement, sur la vie aquatique, sur les oiseaux et autres animaux.

Des essais d'ingestion orale en continu sur les rats, les singes et l'homme ont montré que les huiles diméthyles ne sont pas absorbées par le corps, ni par la peau.

Notons par exemple, les chiffres suivant pour une huile de viscosité moyenne comme le **RHODORSIL HUILE 604 V 50** :

- Toxicité aiguë : atoxique à 50 ml/kg de poids.
- Toxicité subaiguë : atoxique à 5 ml/kg et par jour pendant 4 jours.

On ne connaît pratiquement pas de cas d'intolérance aux huiles Silicones parmi les ouvriers travaillant à leur fabrication.

Le seul désagrément connu est le caractère hydrophobe de l'huile Silicone qui gêne le mouillage des muqueuses et crée une sensation de sécheresse. En cas de projection dans l'oeil, par l'exemple, il convient de laver abondamment à l'eau. Si l'irritation persiste, consulter un médecin.

Aucun phénomène de bioconcentration n'a été noté. On a pu, au contraire, montrer que les polydiméthylsiloxanes subissaient, dans l'environnement et notamment au contact de certains sols, une dégradation dont les termes ultimes sont des produits naturels : silice, CO₂, méthane.

(1) L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a homologué l'emploi des huiles diméthyles comme antimousse dans les produits alimentaires.

Conditionnement

Le **RHODORSIL HUILE 604 V 50** est livré en fûts de 25 et 200 kg, en conteneurs de 1 tonne et en citernes.

**Stockage et durée
Limite d'utilisation**

Le **RHODORSIL HUILE 604 V 50** peut être conservé dans son emballage d'origine non ouvert, à une température comprise entre -20°C et +50°C, 36 mois après sa date de fabrication (DLU). Il est conseillé de conserver les emballages dans un endroit abrité afin d'éviter que des changements de température trop importants ne fassent « respirer » les fûts, avec risque d'entrée d'humidité.

Eviter de laisser les emballages ouverts inutilement.

Avant d'ouvrir un emballage, attendre qu'il soit en équilibre de température avec l'ambiance afin d'éviter la condensation d'eau à la surface du liquide.

Sécurité

Consulter la fiche de données de Sécurité du **RHODORSIL HUILE 604 V 50**.

Pour visiter notre site Internet www.bluestarsilicones.com

 **EUROPE**

*Bluestar Silicones France
21 Avenue Georges Pompidou
F69486 Lyon Cedex 03
FRANCE
Tel. (33) 4 72 13 19 00
Fax (33) 4 72 13 19 88*

 **NORTH AMERICA**

*Bluestar Silicones USA
Two Tower Center Boulevard
Suite 1601
East Brunswick, NJ 08816-1100
United States
Tel. (1) 732 227 2060
Fax (1) 732 249 7000*

 **LATIN AMERICA**

*Bluestar Silicones Brasil Ltda.
Av. Maria Coelho Aguiar, 215, Bloco G
-1º Andar
05804-902 - São Paulo - SP - Brasil
Tel. (55)-11-37477887*

 **ASIA PACIFIC**

*Bluestar Silicones Hong Kong
Trading Co., Ltd.
29/ F, 88 Hing Fat Street
Causeway Bay - Hong Kong
Tel. (852) 3106 8200
Fax (852) 2979 0241*

Avertissement Aux utilisateurs

Ce document contient des informations données de bonne foi et fondées sur l'état actuel de nos connaissances. Elles n'ont qu'une valeur indicative et n'impliquent, par conséquent, aucun engagement de notre part, notamment en cas d'atteinte aux droits appartenant à des tiers du fait de l'utilisation de nos produits. La Société BLUESTAR SILICONES GARANTIT QUE SES PRODUITS RESPECTENT SES SPECIFICATIONS DE VENTE.

Ces informations ne doivent pas se substituer aux essais préliminaires indispensables pour s'assurer de l'adéquation du produit à chaque usage envisagé.

Il appartient aux utilisateurs de s'assurer du respect de la Législation locale et d'obtenir les homologations et autorisations éventuellement nécessaires.

Les utilisateurs sont invités à vérifier qu'ils sont en possession de la dernière version du présent document, la Société BLUESTAR SILICONES étant à leur disposition pour fournir toute information complémentaire.