

BLUESILTM
FLD 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 **BLUESIL FLD 604V50** est un diélectrique liquide constitué par un polydiméthylsiloxane dont la pureté est spécialement contrôlée pour usages en électrotechnique.

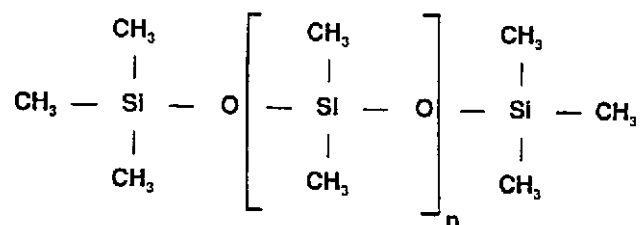
De ce fait, le **BLUESIL FLD 604V50** est principalement utilisé comme milieu d'isolation et de refroidissement des transformateurs et d'une façon plus générale pour tout le matériel moyenne tension (caissons de commutateurs, selfs, capacités, résistances, etc.) lorsque se posent des problèmes d'environnement ou de sécurité vis-à-vis de l'incendie : lieux publics, agglomérations, souterrains, proximité des cours d'eau...

Le **BLUESIL FLD 604V50** 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 **BLUESIL FLD 604V50** 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 :

- 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, mm ² /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 **BLUESIL FLD 604V50** 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 **BLUESIL FLD 604V50** 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.

TABLEAU N° 2 Propriétés diélectriques

	BLUESIL FLD 604V50	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 2,5mm)	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.

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 **BLUESIL FLD 604V50** 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 **BLUESIL FLD 604V50** 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	
	BLUESIL FLD 604V50	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 Bluestar Silicones et est disponible sur simple demande.

De ce fait, la teneur en eau à partir de laquelle la rigidité diélectrique est affectée est également plus élevée pour le **BLUESIL FLD 604V50** 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.

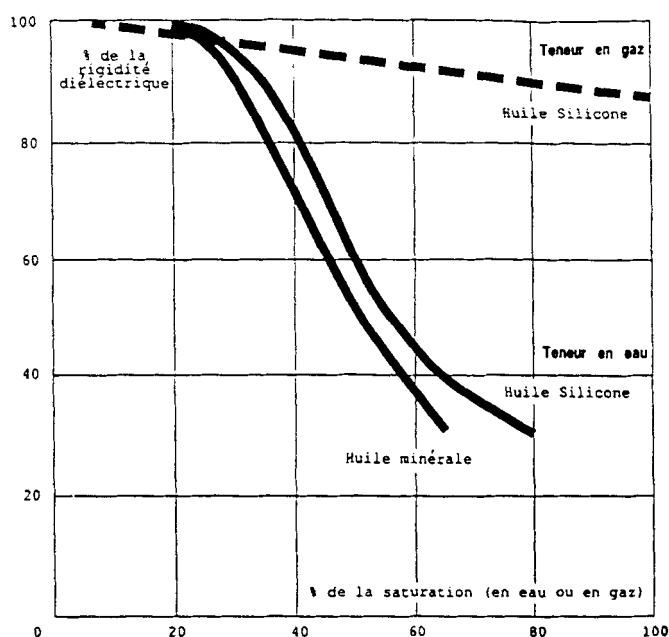
On a même pu montrer que si l'on adoptait comme système de coordonnées :

- 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 **BLUESIL FLD 604V50** 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 **BLUESIL FLD 604V50** 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 **BLUESIL FLD 604V50** 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 **BLUESIL FLD 604V50** 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.

- Il est déconseillé de traiter dans une installation unique à la fois des huiles minérales et le **BLUESIL FLD 604V50** 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 BLUESIL FLD 604V50**

Caractéristiques mesurées	Norme de mesure	FLD 604V50	FLD 604 V 50		HUILE MINERALE
			+ 2 % d'huile minérale	+ 5 % d'huile minérale	
Constante diélectrique	AFNOR NFC 27 210	2,70	2,70	2,68	2,20
Tangente de l'angle de perte	AFNOR NFC 27 210	5.10^{-5}	6.10^{-5}	$7,5.10^{-5}$	$9,7.10^{-5}$
Résistivité volumique $\Omega.cm$	AFNOR NFC 27 210	1.10^{15}	$1,5.10^{14}$	9.10^{12}	$2,5.10^{13}$
Rigidité diélectrique kV	AFNOR NFC 27 221	70	67	65	40
Point d'éclair, °C, (coupe ouverte)	AFNOR NF T 60 118	315	247	216	145

2.3 Solubilité des gaz dans le BLUESIL FLD 604V50

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

En outre, le **BLUESIL FLD 604V50** 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 **BLUESIL FLD 604V50** est la plus élevée.

Transfert de chaleur

Le tableau n° 6 rassemble les éléments de comparaison.

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 **BLUESIL FLD 604V50** ; en effet, quand l'huile Silicone transporte 1 000 calories, dans les mêmes conditions l'huile minérale n'en transporte que 860.

BLUESIL FLD 604V50 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.

TABLEAU N° 6

Transfert de chaleur

Propriétés	BLUESIL FLD 604V50	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.

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 **BLUESIL FLD 604V50** : 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.

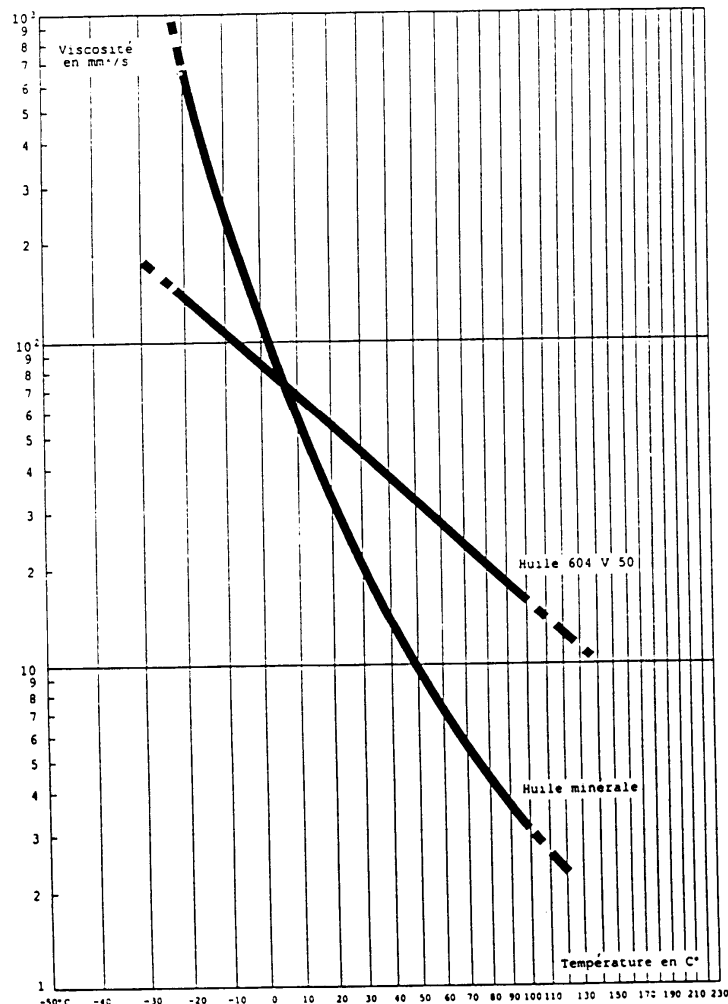
On peut ainsi penser que le refroidissement par le **BLUESIL FLD 604V50** sera convenable.

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.

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.

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**

	BLUESIL FLD 604V50	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.
- 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/m ²	Chaleur par rayonnement kW/m ²	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.

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 BLUESIL FLD 604V50

En règle générale, le **BLUESIL FLD 604V50** 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. Bluestar Silicones est à la disposition de ses clients pour effectuer d'autres essais de comptabilité, si nécessaire.

COMPATIBILITE AVEC LES MATERIAUX

Les matériaux suivants ont été immergés pendant 18 semaines dans le **BLUESIL FLD 604V50**, 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.

BLUESIL™ FLD 604V50

- **Matériaux flexibles**

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

- **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 Polyamide 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.

BLUESIL™ FLD 604V50

Miscibilité du BLUESIL FLD 604V50 avec l'huile minérale

Lorsqu'on se propose de remplacer le fluide diélectrique d'un transformateur par le **BLUESIL FLD 604V50**, 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 **BLUESIL FLD 604V50** en huile minérale.

Entretien des transformateurs - Régénération du BLUESIL FLD 604V50

Le **BLUESIL FLD 604V50** 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.

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 10µ),
- soit un traitement sur tamis moléculaire sec (température ambiante) suivi d'une filtration (5 à 10 µ).

Tenue aux 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 **BLUESIL FLD 604V50**, 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 le **BLUESIL FLD 604V50**, 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 : usage non recommandé

BLUESIL™ FLD 604V50**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 **BLUESIL FLD 604V50** :

- 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 **BLUESIL FLD 604V50** est livré en fûts de 25 et 200 kg, en conteneurs de 1 tonne et en citernes.

**Stockage et durée limite
d'utilisation**

Le **BLUESIL FLD 604V50** 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 **BLUESIL FLD 604V50**.

BLUESIL™ FLD 604V50

Visitez 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
2 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 Brazil Ltda.
Av. Maria Coelho Aguiar, 215
Bloco G – 1º andar
05804-902-Sao Paulo – SP-
Brazil
Tel. (55) 11 37477887*

 **ASIA PACIFIC**

*Bluestar Silicones Hong Kong
Trading Co. Ltd
29th Floor, 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.