

M. Lefort ¹P. Brison ¹

LES SILICONES : synthèse, propriétés, applications

Généralités

Née pendant la dernière guerre, l'industrie des silicones s'est développée avec un taux de croissance généralement supérieur à la P.I.B. des pays industrialisés.

Le marché annuel des silicones, voisin de 20 000 tonnes en 1965, doit être un peu supérieur à 300 000 tonnes aujourd'hui ce qui est encore faible par rapport aux autres matières plastiques (> 10 M.t. de PVC). Cette utilisation est limitée à peu près uniquement aux pays hautement industrialisés dont la consommation en silicones peut être une mesure de l'indice d'industrialisation (États-Unis, Europe et Japon représentent près de 90 % de cette consommation).

Bien que leur progression semble actuellement s'effectuer sur un rythme moins élevé, on peut, sans crainte de se tromper, affirmer que les silicones ont encore un bel avenir devant elles, non seulement dans les pays qui s'industrialisent, mais même en Europe qui est encore très en retard sur les États-Unis.

Après avoir défini ce qu'est une silicone, nous rappellerons les principes de la synthèse des monomères de base et la définition des principales familles de produits concernés, pour terminer un examen de leurs applications, l'ensemble de l'exposé se situant à un niveau purement industriel.

1. Qu'est-ce qu'une silicone ?

On entend par silicone tous les composés comportant des enchaînements polysiloxaniques de type :

- R₃SiO_{1/2} M
- R₂SiO D
- RSiO_{3/2} T
- SiO₂ Q

ou même

Ils résultent de l'hydrolyse des chlorosilanes correspondants



Les substituants R les plus importants du point de vue des applications industrielles sont toujours des méthyles et, à un degré moindre, des phényles.

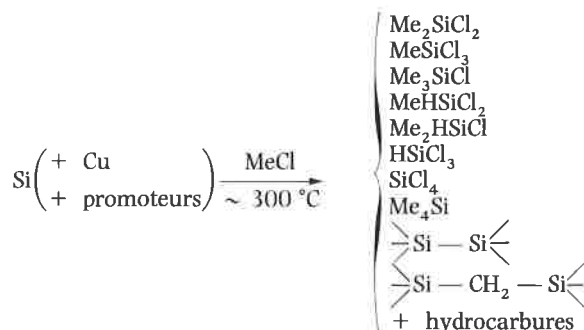
2. Préparation des siloxanes de base

Les siloxanes de base sont obtenus par polycondensation,

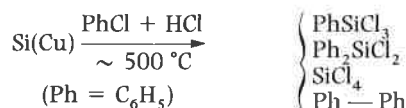
réarrangement ou polymérisation des produits de l'hydrolyse ou de la cohydrolyse de chlorosilanes.

2.1. Les chlorosilanes

Les principaux méthyl- et phénylchlorosilanes proviennent des synthèses de Rochow résumées dans les deux tableaux suivants :



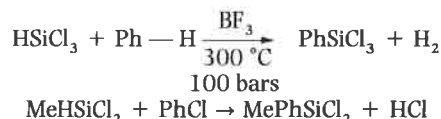
Cette réaction est très sélective en diméthylchlorosilane, le méthyltrichlorosilane, le méthylchlorosilane et le triméthylchlorosilane étant les coproduits les plus importants.



Il est possible de faire varier plus largement les sélectivités en agissant sur les conditions de la réaction et sur le rapport PhCl/HCl.

Il existe, cependant, d'autres moyens industriels d'accès aux phénylchlorosilanes :

• à partir d'un hydrogénéochlorosilane que l'on fait réagir sur le benzène ou le chlorobenzène à température (300-800 °C) et pression (85-125 bars) élevées et en présence d'un catalyseur tel qu'un trihalogénure de bore, ou le chlorure d'aluminium.



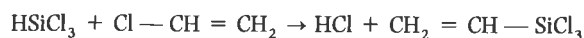
¹ Rhône Poulenc - Spécialités chimiques, Usine Silicones, B.P. 22, 69190 Saint-Fons.

- par voie organométallique :

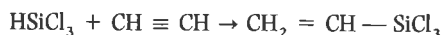


Ces procédés permettent, en particulier, l'obtention de silanes possédant des groupements méthyle et phényle sur le même atome de silicium.

Les vinylchlorosilanes, indispensables pour la fabrication de certaines familles de silicones, sont généralement fabriqués par réaction entre un hydrogénéosilane et le chlorure de vinyle.



On peut également faire appel à une réaction d'hydrosilylation entre un hydrogénéosilane et l'acétylène.



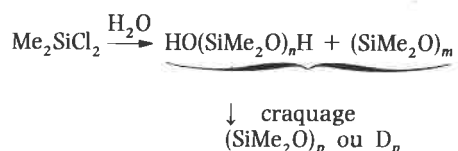
Enfin, les autres alkylsilanes, dont l'importance est limitée, sont obtenus à l'aide de réactions du même type entre un hydrogénéosilane et un hydrocarbure éthylénique.

2.2. Les siloxanes

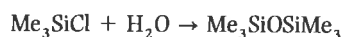
L'hydrolyse d'un chlorosilane ou la cohydrolyse d'un mélange de chlorosilanes conduisent à des polysiloxanes.

Les plus importants sont issus du diméthylchlorosilane dont l'hydrolyse conduit à un mélange de polysiloxanes cycliques ou linéaires α, ω -dihydroxylés qui constitue le produit de base pour la fabrication des fluides et des élastomères.

L'obtention de polysiloxanes de poids moléculaires élevés impose un traitement de cet hydrolysate afin d'éliminer les impuretés gênantes. On effectue un craquage thermique sur potasse qui conduit à un mélange de siloxanes cycliques (essentiellement D_4 et D_5)



L'hydrolyse du triméthylchlorosilane conduit à l'hexaméthyldisiloxane qui servira de limiteur de chaînes lors de la fabrication des polysiloxanes linéaires.



3. Huiles et gommages

La polymérisation anionique ou cationique des cycliques D_n en présence de bloqueurs de chaînes (M) fournit des huiles et des gommages.

Cette polymérisation (à 140-150 °C) conduit à un équilibre entre les chaînes linéaires désirées et les siloxanes cycliques, à un taux d'environ 15 % de cycliques.

Ces derniers doivent être éliminés par dévolatilisation sous pression réduite (180-260 °C).

On obtient ainsi :

3.1. des huiles dites « bloquées » de formule générale $M.D_n.M$, dont la viscosité est réglée par la quantité de groupements M mise en œuvre.

Ces huiles sont généralement disponibles à des viscosités comprises entre 0,65 (pour $n = 0$) et $2,5 \cdot 10^6$ mm²/s.

Elles peuvent être utilisées telles quelles ou servir de base à la fabrication :

- d'émulsions
- d'antimousses par addition d'une petite quantité de charge
- de pâtes et de graisses

3.2. des gommages, polysiloxanes de masses moléculaires très élevées (de l'ordre de 500 000) et de viscosité pouvant atteindre 10 à 20 millions de mm²/s. Elles sont surtout utilisées pour l'élaboration des élastomères vulcanisables à chaud.

Elles contiennent généralement quelques groupements Si-vinyle qui faciliteront la vulcanisation de l'élastomère. Elles peuvent également contenir des groupements phényles pour les élastomères destinés aux basses températures ou à des applications dans l'amortissement.

Cette famille de polysiloxanes est complétée par :

3.3. des huiles réactives.

La polymérisation des cycliques en présence d'eau conduit à des hauts polymères α, ω -dihydroxylés de forme HO-D_n-OH qui servent de base aux élastomères dits « vulcanisables à froid ».

Enfin, des polysiloxanes comportant des groupements silicium-vinyle ou silicium-hydrogène sont les produits de base pour certains élastomères dont la réticulation s'effectue par une réaction d'hydrosilylation.

4. Les élastomères

Ce sont des produits élastomériques obtenus par réticulation de polysiloxanes linéaires. Une des caractéristiques des silicones étant la faiblesse de leurs forces de cohésion, on fait appel à des silices renforçantes pour en augmenter de façon importante les propriétés mécaniques.

En faisant varier :

- le taux, la nature et le traitement de la charge (silice),
- la nature du polysiloxane,
- le taux et le mode de réticulation

il est possible d'accéder à un grand nombre de types d'élastomères.

On classe ces élastomères suivant le mode de réticulation.

On distingue ainsi :

- les élastomères vulcanisables à chaud,
- les élastomères « vulcanisables à froid » monocomposants; dénomination impropre, la réticulation s'effectuant en fait sous l'action de l'humidité atmosphérique.
- les élastomères vulcanisables à froid bicomposants.

A ces trois classes, il faut ajouter une dernière née, celle des élastomères silicones pompables (ESP) dont le mode de réticulation correspond à celui de la première ou de la seconde classe mais dont la composition ou les composants sont suffisamment fluides pour être véhiculés par pompage au cours de la mise en œuvre.

4.1. Élastomères vulcanisables à chaud (EVC)

Un EVC est, en général, constitué :

- d'une gomme silicone (masse moléculaire $\approx 500\,000$),
- d'une charge renforçante,
- d'un agent de réticulation (peroxyde),
- de divers additifs : agents « antistructures », colorants, etc.

La gomme comporte quelques groupements vinyle (de l'ordre de 0,2 %, exprimé en MeViSiO); on peut également utiliser un mélange de gommages.

La charge renforçante est une silice de combustion ou de précipitation, présentant une morphologie spéciale. Elle peut être utilisée telle quelle ou préalablement traitée pour réduire le nombre de ses groupements OH. On peut également ajouter des charges non renforçantes pour réduire le coût lorsqu'il n'est pas nécessaire d'avoir des propriétés mécaniques très élevées ou pour augmenter la dureté.

L'agent de réticulation est en général un peroxyde qui peut être ajouté lors de la préparation de la composition ou lors de la replastification sur mélangeur à cylindres avant emploi.

La réticulation en atmosphère d'air chaud, sans pression, sera de préférence effectuée par le peroxyde de dichloro-2,4 benzoyle entre 105 et 130 °C; sous pression, on pourra utiliser le peroxyde de cumyle entre 160 et 200 °C ou le bis (tertiobutylperoxy)-2,5 diméthyl-2,5 hexane.

Cette réaction met en jeu les groupements méthyle du polysiloxane (réticulation par $\equiv \text{Si} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{Si} \equiv$) ou préférentiellement un groupement vinyle et un méthyle (réticulation par $\equiv \text{Si} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{Si} \equiv$).

Au cours du stockage les compositions durcissent : pour réduire cette tendance et faciliter la replastification on ajoute des « antistructures » qui évitent la formation de liaisons physiques fortes au cours du vieillissement et de la mise en œuvre. On peut utiliser pour cela des α, ω -dihydroxypolysiloxanes à chaînes très courtes (quelques atomes de silicium).

Outre les propriétés habituelles des silicones dont nous parlerons ultérieurement d'autres qualités sont souvent recherchées. Parmi celles-ci, on peut signaler :

- la faible déformation rémanente à la compression (DRC),
- la non réversion (chute des propriétés en milieu confiné),
- la réduction de la propagation de la flamme,
- la tenue aux huiles.

On peut optimiser ces caractéristiques, qui résultent le plus souvent de compromis, en agissant sur les taux et la nature des constituants de base ou en ajoutant des additifs spéciaux (dérivés de métaux de transition par exemple).

Les propriétés mécaniques optimales peuvent être atteintes directement lors de la vulcanisation ou nécessiter une post-cuisson comme c'est le cas, en particulier, pour les EVC utilisés à haute température.

4.2. Élastomères vulcanisables à froid (EVF)

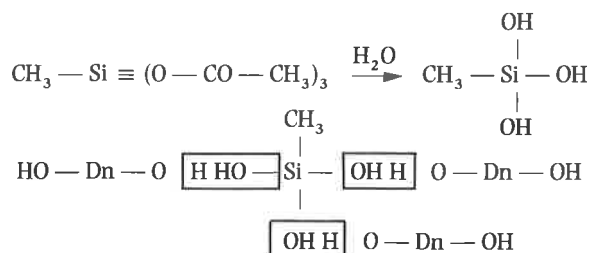
4.2.1. EVF monocomposants

Une composition d'EVF monocomposant contient :

- un polysiloxane α, ω -dihydroxylé,
- un agent de réticulation du type RSiY_3 ou SiY_4 où Y est un groupement hydrolysable (acyloxy, amino, cétiminoxy, alcoxy...),
- une charge (silice),
- un catalyseur : sel métallique à caractère acide de Lewis, ou base,
- éventuellement des pigments colorés.

Au contact de l'humidité atmosphérique les liaisons SiY s'hydrolysent et créent des nœuds de réticulation.

Ainsi, avec le méthyltriacétoxy silane, agent de réticulation très employé, la réticulation peut se schématiser globalement de la façon suivante :



En fait, la réaction est plus complexe.

4.2.2. EVF bicomposants

Leur réticulation peut s'effectuer à température ambiante après mélange de deux composants. Cependant, on peut avoir recours à un léger chauffage pour réduire la durée de cette réticulation.

Suivant le type de produit la prise peut nécessiter de 8 à 24 h à 20 °C, environ 4 h à 65 °C, 1 h à 100 °C ou 15 minutes à 150 °C.

Il existe deux types de produits se différenciant par la réaction mise en œuvre lors de la réticulation :

- soit condensation d'un polymère α, ω -dihydroxylé avec un agent de réticulation tel qu'un silicate ou un polysilicate d'alkyle. La réaction est favorisée par un catalyseur (dérivé de l'étain), et l'eau nécessaire à la condensation est présente dans l'un des constituants; (le schéma de réticulation est le même que dans le cas des EVF monocomposants)
- soit hydrosilylation, l'un des composants comportant des liaisons SiH et l'autre des liaisons Si-Vi et un catalyseur (en général dérivé du platine).

4.3. Élastomères « pompables » ESP

Une nouvelle famille d'élastomères silicones et les machines permettant de les mettre en œuvre sont apparues récemment sur le marché. Il s'agit de systèmes bicomposants de faible viscosité mélangés extemporanément; le mélange est injecté dans un four où la réticulation est suffisamment rapide pour permettre des cadences élevées.

5. Résines

Les résines silicones les plus courantes sont à base de méthylphénylpolysiloxanes comportant des motifs D, T, voire Q. Elles peuvent également comporter des groupes vinyliques qui permettront d'effectuer la réticulation finale par polymérisation ou des groupements alcoxylés qui facilitent la polycondensation.

Elles se préparent, en général, par cohydrolyse d'un mélange de chlorosilanes dont au moins un est tri ou tétrafonctionnel, quelquefois en présence d'un alcool. On obtient ainsi un condensat encore riche en hydroxyle qui constitue une résine de base non « avancée » et qui se présente en général sous la forme d'une solution concentrée de l'ordre de 70 % dans un solvant organique.

Cette résine de base seule, ou en mélange avec d'autres résines du même type ou des résines purement organiques telles que des polyesters phtaliques, est polycondensée en présence d'un catalyseur qui peut être un sel organique d'un métal (zinc, fer, cobalt...) ou une base organique. On l'amène ainsi à la viscosité requise pour l'application envisagée et l'on réduit le temps de cuisson nécessaire à sa mise en œuvre.

La résine est ainsi amenée à un degré de polymérisation aussi avancé que possible tout en lui conservant :

- une durée de conservation au stockage convenable
- une viscosité acceptable
- une durée de réticulation finale réduite au minimum.

On caractérise en général une résine par son rapport R/Si compris entre 1 et 1,7 ($\text{R/Si} = \text{Me/Si} + \text{Ph/Si} + \text{Vi/Si}$). L'augmentation du rapport Me/Si augmente la dureté, la fragilité et le caractère hydrofuge; il existe des résines méthyle pures. En revanche, lorsqu'on augmente le rapport Ph/Si on améliore la résistance à la chaleur et aux agents climatiques, ainsi que la souplesse, la thermoplasticité, la compatibilité avec les produits organiques et en particulier avec les autres résines organiques. Les résines silicones comportant des groupements alcoxyle sont particulièrement adaptées à la préparation des résines mixtes par co-condensation et/ou réticulation avec des résines époxydes, acryliques ou des alkylés.

Les résines hydroxylées, qui sont les plus courantes, sont « cuites » avec libération d'eau en général sous l'action du catalyseur d'avancement.

La formation du réseau avec les résines sans solvant comportant

des groupements vinyliques, et qui se présentent sous forme de liquides plus ou moins visqueux ou de solides fusibles, est effectuée par chauffage en présence d'un peroxyde.

La structure des résines silicones est très complexe. Le réseau n'est pas aussi réticulé que le taux de segments T ou Q pourrait permettre de le supposer, en raison de la grande aptitude des chaînes siloxaniques à former des cycles et en particulier des cycles à quatre liaisons Si — O; cette aptitude et les différences de vitesse d'hydrolyse des chlorosilanes suivant leur fonctionnalité expliquent la formation de structures type échelle ou de « cages ».

6. Propriétés générales des polysiloxanes :

- tenue thermique
- tenue aux basses températures
- résistance aux agents atmosphériques et à l'ozone
- faible variation des constantes physiques avec la température
- caractère hydrophobe
- incompatibilité avec de nombreuses matières organiques
- antiadhérence
- faible tension superficielle
- inertie physiologique et exceptionnelle absence de toxicité
- propriétés diélectriques élevées
- forte perméabilité aux gaz
- combustibilité très limitée.

La **stabilité thermique** due à l'enchaînement Si-O-Si à forte énergie de liaison est la qualité la plus remarquable des silicones qui peuvent dans la majorité des cas être utilisées entre — 50 et 250 °C sans variation fondamentale de leur état physique. Dans certains cas cette plage peut être élargie de — 160 °C à + 320 °C voire 500 °C pour certains dérivés des résines.

La **faible variation des caractéristiques physiques avec la température** permet l'utilisation des fluides silicones dans une vaste plage de température car leur viscosité évolue beaucoup moins que celle des huiles minérales ou organiques classiques. Quant aux élastomères, ils conservent leur souplesse et leur élasticité aux basses comme aux hautes températures.

L'**inertie chimique** est exceptionnelle en ce qui concerne la résistance à l'oxydation et à l'hydrolyse et se traduit par une très bonne tenue aux agents atmosphériques, aux radiations et même aux bactéries et moisissures.

La **tension superficielle** très faible des fluides silicones (environ 20 dynes/cm) est responsable de leurs propriétés antimousses et de leur rôle de régulateur de cellules dans la fabrication des mousses plastiques.

Les **propriétés diélectriques** excellentes sont peu affectées par la chaleur et l'humidité et sont conservées dans le domaine des hautes fréquences.

L'**incompatibilité** des silicones avec de nombreuses matières organiques est utilisée dans la fabrication d'agents de démoulage et de revêtements anti-adhérents.

La **perméabilité aux gaz** des élastomères silicones, très supérieure à celle des autres élastomères naturels ou synthétiques, est mise à profit dans la fabrication de membranes perméables.

L'**absence de toxicité** autorise l'emploi de silicones spécialement contrôlés dans de nombreuses applications en cosmétologie, dentisterie, chirurgie et pharmacie, ainsi que dans les industries alimentaires.

7. Applications des principales familles de produits

7.1. Fluides et dérivés

Agents de démoulage

La stabilité aux températures élevées, la faible tension superficielle, l'inertie vis-à-vis des moules et des polymères, présentés par les silicones sont depuis très longtemps mises à profit dans des procédés de moulage à chaud. On les utilise en général sous forme d'émulsions aqueuses et les moules sont traités par pulvérisation. Les silicones trouvent ainsi des emplois dans le moulage du caoutchouc, en particulier dans la confection des pneumatiques.

Antimousses

Ils sont préparés à partir d'huiles diméthylpolysiloxaniques plus ou moins modifiées et se révèlent particulièrement efficaces à faible dose dans pratiquement tous les milieux. Ils sont utilisés dans de nombreuses opérations de génie chimique, les fabrications de produits moussants, l'extraction pétrolière et les industries alimentaires et pharmaceutiques.

Applications électriques

Leurs propriétés diélectriques alliées à la stabilité thermique, à l'inertie chimique et à l'absence de toxicité en font des produits particulièrement adaptés aux exigences d'emploi dans les transformateurs électriques. On utilise pour cela un fluide de viscosité 50 mm²/s (en remplacement des polychlorobiphényles).

Amortissement

La remarquable résistance des polysiloxanes aux efforts de cisaillement intenses et prolongés leur ouvre des débouchés comme fluides d'amortissement. Leur bon comportement vis-à-vis des radiations permet leur utilisation dans certains secteurs des centrales nucléaires.

Santé humaine

Des tonnages importants d'huiles silicones sont utilisés en cosmétologie, pharmacie (additifs ou matières actives pour l'élaboration de médicaments) en médecine (lubrification d'instruments).

Transfert de calories

On utilise suivant les températures soit des huiles « diméthyle » soit des huiles « méthylphényle » pour des bains thermostatés ou pour le transport de calories dans les capteurs solaires.

Lubrification

Des fluides silicones plus ou moins modifiés (par adjonction d'additifs ou présence dans les molécules de substituants particuliers comme des radicaux chlorophénylés) sont utilisés dans un bon nombre d'industries présentant des conditions de température et d'environnement sévères (roulements, vannes, mouvements de va-et-vient, trépan de forage, filetages, paliers, lames de ciseaux, fil à coudre, horlogerie et micromécanique).

Chromatographie

Les analystes connaissent bien les phases stationnaires à base de silicones pour la chromatographie gaz/liquide; dans cet emploi on utilise la bonne stabilité des huiles silicones et leur aptitude à donner des liaisons très solides avec les silices ou les alumines.

Fluides pour pompes à diffusion

L'emploi de fluides « méthylphénylpolysiloxanes » stables à la chaleur, résistant bien à l'oxydation et à l'hydrolyse présentant une très faible tension de vapeur, a permis d'atteindre des pressions de l'ordre de $5 \cdot 10^{-7}$ torr.

Divers

Des huiles silicones plus ou moins modifiées (certaines « modifications » pouvant même entraîner la solubilité dans l'eau)

sont susceptibles d'applications particulières : produits d'entretien (effet antibuée), additifs pour peintures (action antirayure, agents de tension des feuil) et surtout additifs régulateurs de cellularisation pour les mousses organiques (copolymères silicones-polyoxydes d'alcoylène).

7.2. Élastomères vulcanisables à chaud

Les EVC sont commercialisés soit sous forme de mélange-maitre à catalyser par l'utilisateur, soit prêts à l'emploi.

Après mise en forme sur extrudeuse, sur calandre ou sur presse à mouler (par injection, transfert ou compression), ils subissent en principe deux traitements thermiques : vulcanisation (obligatoire) et recuisson (facultative) qui donnent au produit sa forme et ses propriétés définitives.

Les EVC sont présentés sous de nombreuses références, fonction de l'usage auquel ils sont destinés : usage général, tenue aux huiles, hautes propriétés mécaniques, câblerie, matériaux cellulaires et usages spéciaux (alimentation, santé humaine, amortissement, auto-adhérence, conductibilité...). Chaque référence existant dans une gamme de duretés.

Les applications en sont donc très variées : automobile (bagues d'étanchéité, durites, capuchons de bougies, têtes de delco...), câblage électrique travaillant à proximité de sources de chaleur, isolation en antiadhérence, jointoiment (cuisinières, appareils électro-ménagers...), enduction de tissus (membranes), applications médicales (sondes, tubes, implants...).

7.3. Élastomères vulcanisables à froid monocomposants

Présentés en emballages étanches, ils n'évoluent qu'en présence de l'humidité atmosphérique, se transformant en quelques heures en une matière possédant toutes les caractéristiques d'un élastomère.

Ce mode de réticulation qui entraîne une prise par la surface fait que ces produits sont plutôt adaptés à la réalisation de collages, de revêtements, de joints ou d'enrobages en couches relativement minces.

La présentation de ces EVF est adaptée à l'utilisation pour laquelle ils sont prévus :

- produits coulants pour collage, enrobage, moulage, isolation électrique
- mastics thixotropes, non coulants après application dont les plus gros débouchés se situent dans les domaines du collage et de l'étanchéité : bâtiment et travaux publics, applications marines
- dilutions : pour les travaux d'enduction (antiadhérence alimentaire...).

7.4. Élastomères vulcanisables à froid bicomposants

Ce sont des produits liquides ou pâteux se transformant à température ambiante ou peu élevée (EVF à prise accélérée à chaud) en masses élastiques et souples, après mélange des deux constituants.

Il est possible d'obtenir des pièces vulcanisées de forte épaisseur et le « temps de travail » de ces produits peut être variable (de quelques minutes à plusieurs dizaines d'heures).

Ils trouvent d'intéressantes applications dans les domaines suivants :

- moulage : confection de moules complexes (de l'objet d'art à la chaussure de ski)
- enrobage ou remplissage
- gels diélectriques collants ou non (pour froid intense ou radiations nucléaires)
- enduction ignifuge des tresses de verre ou de câbles
- réalisation de pièces en mousse
- applications spéciales demandant insensibilité à la reversion, auto-extinguibilité, auto-adhérence...

7.5. Résines

Les domaines d'emplois des résines silicones sont particulièrement nombreux :

- l'antiadhérence : papiers, fonderie, caoutchouc et matières plastiques (protection des moules), industries alimentaires (revêtements d'ustensiles de cuisine), revêtements antiaffiches
- l'isolation électrique rigide : stratifiés, poudre à mouler, imprégnation d'isolants amiante-ciment
- l'isolation électrique souple : tissus et rubans enduits, guipage, tresses, rubans adhésifs
- imprégnation des machines et matériels électriques (moteur), la fabrication des peintures, encres et vernis : liants pour peintures thermorésistantes, pour coil-coating
- l'agglomération : ciments spéciaux, masses de remplissage
- l'hydrofugation : maçonnerie, verre, textile
- la fabrication de produits d'entretien : encaustique, cirages, polishes pour automobile.

Conclusions

Après bientôt 40 ans de développement les applications des silicones touchent toutes les industries, à l'exception peut-être de la métallurgie. On peut maintenant s'interroger sur leur avenir.

En tant que produits, les silicones n'ont pas encore tout à fait globalement atteint leur phase de maturité, bien qu'individuellement certains produits ou familles de produits l'aient déjà fait.

On peut prévoir un développement de plus en plus irrégulier des diverses applications des silicones; certains comme le textile, le démoulage, la cosmétologie ne feront que suivre le développement général du marché alors que d'autres connaîtront un taux de croissance élevé.

Ce sont, en particulier, celles qui touchent :

- a) la santé humaine (développement de la chirurgie réparatrice, interdiction des sels de bismuth, antiadhérence alimentaire),
- b) les économies, par :
 - l'accroissement de la longévité (automobile, bâtiment, peintures...)
 - la simplification des techniques (joints in-situ, coil-coating, ESP)
 - la réduction des consommations (énergie ou matières premières), antimousses, siliconates, réduction de l'encombrement (électronique)
 - la sécurité et l'environnement : renforcement des normes de sécurité automobile, huile pour transformateur, isolation électrique.

C'est donc à la fois la grande diversification de leurs applications et leur usage croissant dans les techniques de pointe qui permettent d'augurer un développement important pour les silicones.