

Les silicones et leurs applications industrielles

Par P. H. MOREL, Ingénieur E. N.

Société des Usines Chimiques Rhône-Poulenc, Paris

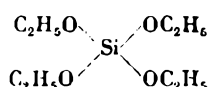
I. Généralités

a) Définitions

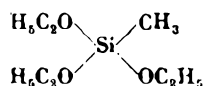
Les silicones constituent une branche de la famille des composés organosiliciques.

On appelle *organosiliciques* des composés contenant à la fois un ou des groupes organiques et du silicium, dans lesquels un atome de silicium est directement lié au moins à un atome de carbone.

Par exemple, l'orthosilicate d'éthyle

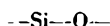


n'est pas à proprement parler un composé organosilicique. Par contre le produit ci-dessous :



c'est-à-dire le monométhyltriéthoxysilane, est un composé organosilicique.

Les silicones sont des composés organosiliciques, généralement à grosses molécules, dans lesquelles se trouve la liaison :

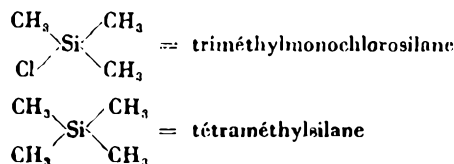
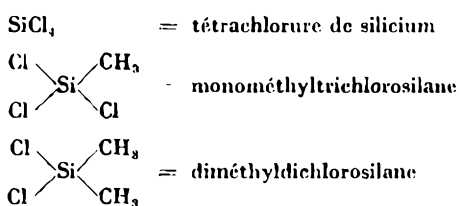


On sait que la chimie du silicium présente des analogies avec celle du carbone, par exemple ces deux éléments sont tétravalents. Le groupement --Si--O-- mentionné ci-dessus rappelle le groupement CO qui caractérise, en chimie organique, les cétones. C'est ce rapprochement, d'ailleurs discutable, qui a conduit à la désignation *silicone*.

Silicone Ketone

b) Chimie des silicones

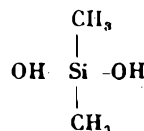
Un procédé de préparation passe par des intermédiaires appelés chlorsilanes. Si l'on part du tétrachlorure de silicium SiCl_4 et que l'on remplace les atomes de chlore par un radical organique, par exemple le radical méthyl CH_3 , on peut aboutir à la succession des dérivés ci-après :



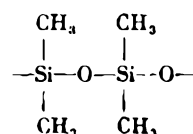
On reconnaît dans ces quatre derniers composés qui contiennent le groupement organiques CH_3 , une ou plusieurs liaisons directes Si--C . Nous avons donc affaire à des composés organosiliciques.

Ces méthylchlorosilanes sont des produits volatils, inflammables et corrosifs, parce que l'humidité de l'air suffit à les hydrolyser, en produisant de l'acide chlorhydrique.

Lorsqu'on les hydrolyse systématiquement, ils donnent lieu à des produits intermédiaires appelés silanols, qui se condensent rapidement entre eux. Par exemple, à partir du diméthylchlorosilane l'hydrolyse conduirait au silanol suivant :

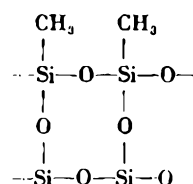


Mais plusieurs molécules ne tardent pas à se condenser avec séparation d'eau, pour conduire à l'enchaînement suivant :



On est en présence de silicones à molécules plus ou moins longues selon les méthodes d'hydrolyse et de condensation. Ces molécules à longue chaîne droite sont des fluides, des huiles.

On conçoit que si l'on hydrolyse le monométhyltrichlorosilane, on arrivera à un enchaînement en réseau du type suivant :



En hydrolysant des mélanges de chlorsilanes, mono, di et tri, on peut varier la nature de ce réseau.

Les silicones ainsi condensées en réseau sont des résines thermoplastiques ou thermodurcissables.

Ces quelques explications suffisent à faire comprendre que, en faisant varier les matières premières de départ, par exemple des chlorosilanes plus ou moins substitués, soit par des groupes alkyles ou d'autres groupes tels que les aryles, en agissant sur les conditions d'hydrolyse ou de condensation, on puisse obtenir toute une gamme de silicones très différentes. En pratique, on présente :

- des résines,
- des fluides ou huiles,
- des pâtes ressemblant à la vaseline,
- des graisses,
- des gommes,
- des élastomères (dits caoutchoucs silicones).

Avec les résines seules en solution, on obtient :

- des vernis simples ou d'imprégnation.

Avec les résines et des charges diverses, en général inorganiques :

- des ciments,
- des poudres à mouler,
- des agglomérés,
- des stratifiés.

II. Propriétés générales des silicones

En raison de ce qui précède, on peut s'attendre à des propriétés particulières de ces produits, et on les trouve effectivement :

a) Résistance à l'oxydation

La liaison Si—C apporte une résistance très grande à l'oxydation, ainsi d'ailleurs qu'à l'hydrolyse.

On constate en effet, que les huiles silicones par exemple, peuvent être chauffées pendant des temps très longs à des températures très supérieures aux huiles organiques en présence d'oxygène. Cette résistance à l'oxydation est renforcée d'ailleurs par la stabilité à haute température résultant de la liaison Si—O.

b) Inertie chimique

Après hydrolyse et condensation des produits intermédiaires (silanes, puis silanols), les polymères utilisés industriellement sont des corps stables. On constate effectivement leur stabilité chimique en présence des agents agressifs usuels. Il faut cependant bien préciser que cette inertie chimique n'est effective que dans une gamme de températures dans laquelle il n'y a pas destruction de la molécule du fait de la chaleur.

Il faut remarquer que cette gamme de températures varie avec la nature de la silicone mise en œuvre.

D'une façon générale, et pour la plupart des silicones usuelles, on peut admettre que cette inertie se maintient entre -50°C et $+200^{\circ}\text{C}$.

c) Compatibilité avec les matières organiques

Elle dépend essentiellement de l'état de condensation des polymères utilisés. En effet, on obtient ceux-ci, soit par simple action de la chaleur, soit par l'action de la chaleur et de certains catalyseurs, en partant de silanols.

En raison de la tétravalence du silicium, on peut avoir affaire à des produits présentant une, deux ou trois fonctions alcool. Ces fonctions sont instables et fugitives dans le cas des alcoyles. Ce n'est pas exact dans le cas des aryles.

Il est cependant possible de commercialiser des silicones présentant un certain pourcentage de radical OH. Ce sont donc des corps non évolués susceptibles d'entrer en réaction avec d'autres matières organiques elles-mêmes réactives. On constate que l'on peut disposer industriellement :

- ou bien de silicones compatibles, donc à faible poids moléculaire ;
- ou bien de silicones complètement condensées et saturées qui seront incompatibles avec toutes les matières organiques.

L'incompatibilité de ces derniers produits, essentielle en ce qui concerne l'industrie du caoutchouc, permettra d'obtenir des agents de démoulage ou des élastomères souples, comme nous le verrons plus loin.

d) Pouvoir hydrofugeant

Les deux liaisons directes caractéristiques des silicones Si—O et Si—C, permettent d'accrocher sur l'atome de silicium des radicaux organiques dotés eux-mêmes de propriétés spéciales connues par ailleurs. En choisissant des radicaux de nature paraffinique, on peut s'attendre à ce que dans certaines conditions, la molécule du polymère ainsi constitué présente une tension superficielle faible. Effectivement, on constate que la plupart des silicones industrialisées à l'heure actuelle ont une tension superficielle à la température ambiante comprise entre 18 et 24 dynes/cm.

Cette propriété est largement utilisée dans de nombreuses applications, telles que l'hydrofugation des matières inorganiques (verre, céramique, amiante, maçonnerie, etc.), celle des matières organiques (textiles, caoutchoucs naturels et synthétiques), ou bien produits d'entretien pour protéger les supports et les peintures.

e) Stabilité à la température

Suivant la nature des radicaux organiques accrochés à l'atome de silicium, on obtient des polymères pouvant résister soit à des températures très basses, soit à des températures très élevées, soit à des variations brutales de températures. Les radicaux organiques les plus courants actuellement, mais rien ne laisse présumer que d'autres ne seront pas employés dans l'avenir en vue de perfectionner ces produits, sont les radicaux méthyl, éthyl, phényl, et pour d'autres applications : vinyl et amyl. Bien d'autres radicaux ont été essayés, mais on ne leur a pas trouvé jusqu'ici d'intérêt spécial vis-à-vis des précédents.

Précisons bien que pour les produits commercialisés actuellement, et en dehors de certains fluides très particuliers, aucune silicone ne conserve son état physique en service courant à plus de $+325/350^{\circ}\text{C}$ et à moins de 80°C , lorsqu'elle est employée seule.

Avec certains polymères d'agglomération (résines), on peut cependant obtenir des pièces moulées ou des stratifiés pouvant résister en service à des températures beaucoup plus élevées, mais il faut bien se souvenir qu'au-delà de 300°C généralement, ces complexes évolueront chimiquement et ne présenteront plus toutes les caractéristiques des silicones exposées ci-dessus; par exemple, des peintures aluminium ne seront plus hydrofuges, les pièces moulées à base de fibre d'amiante et de résine silicone deviendront sensibles à l'humidité et à la vapeur d'eau, etc.

f) Résistance aux agents chimiques

Il résulte des propriétés énumérées ci-dessus, en particulier de la stabilité chimique des liaisons que nous avons examinées et de la saturation des polymères mis en œuvre, que d'une façon générale, la résistance aux agents chimiques est bonne sans être inusuelle, c'est-à-dire que certaines silicones convenablement polymérisées pourront résister aux agents chimiques dilués (acides et bases en solution) dans une gamme de températures assez étroite, pour fixer les idées, entre -30°C et +100°C.

Si on leur demande la même résistance à 150°C ou 200°C, il faut s'attendre à des résultats plus médiocres. On ne peut pas faire jouer, en effet, toutes les propriétés d'un corps dans les conditions les plus sévères d'emploi.

Nous désirons attirer l'attention sur ce fait essentiel, car l'utilisateur est souvent enclin à vouloir résoudre des problèmes mettant simultanément en œuvre toutes les propriétés. Raisonnablement, il faut en choisir une et ne pas trop exiger de ces produits nouveaux.

III. Principales applications industrialisées des silicones

Le classement arbitraire choisi ci-dessous fait intervenir toute la gamme des types de produits silicones actuellement fabriqués, sans rattacher ces applications à un type défini.

L'expérience acquise montre en effet que, souvent, pour une même application, plusieurs types de silicones conviennent.

Bien que ces produits soient encore trop nouveaux pour que l'importance relative de chacun de leurs types puisse être précisée exactement, il faut mentionner que, dès maintenant, les *élastomères silicones* correspondent en gros, à la moitié des fabrications, viennent suite les fluides ou huiles, puis les résines, puis les produits spéciaux.

Sous ces réserves, les applications les plus importantes sont les suivantes :

A. Les produits d'hydrofugation

1° Hydrofugation de la maçonnerie

À la différence des agents hydrofugeants organiques usuels, tels que les cires, les paraffines, les savons métalliques, etc., qui se dégradent rapidement sous l'effet des agents atmosphériques d'une part, par instabilité

chimique d'autre part, par manque d'adhérence sur leur support ensuite, les silicones, après polymérisation en film très mince, enrobent complètement les granules fines ou grossières, constituant des revêtements hydrofuges, et résistent à toutes les érosions usuelles pendant un temps qui peut, maintenant, être évalué à cinq ans.

Plusieurs types de silicones conviennent pour cette application suivant que l'on désire protéger une surface de construction ancienne, ou rendre hydrofugeant un revêtement neuf.

a) Dans le premier cas, on utilise des solutions de résine à très faible concentration (de 1 à 2%) dans des solvants choisis pour faciliter le départ du film d'eau adsorbé qui peut être déposé sur les granules au moment de l'application.

Des compositions plus récentes contiennent, outre les silicones, des produits d'addition dont le but est d'ajouter à l'hydrofugation apportée par la silicone, une dureté superficielle et une résistance aux agents détersifs supérieures. Cette mise au point se justifie par le désir de laisser aux utilisateurs la possibilité de laver les surfaces si celles-ci sont soumises, du fait de leur position géographique, à des salissures intenses (poussières de charbon, etc.). Il faut insister sur le fait que les silicones employées laissent respirer le matériau, point essentiel étant donné la grande quantité d'air incluse dans la maçonnerie, air qui, suivant la température ambiante, se dilate ou se rétracte.

Les produits d'addition, parmi lesquels figure un stéarate d'aluminium spécial (employé à la dose de 1,5 à 2,5%) ont en outre l'avantage de libérer de l'alumine ou des sels d'alumine (dont le rôle durcissant est bien connu des spécialistes).

L'attention doit être particulièrement attirée sur le fait que la pression hydrostatique instantanée que peut supporter une surface traitée est d'autant plus grande que le diamètre des pores est plus petit. Pour fixer les idées, une goutte d'eau tombant avec une incidence de 70° lors d'un violent orage (vent traversier de 100 km/heure) correspond à une pression hydrostatique instantanée de 25 cm d'eau. Pour que cette goutte ne pénètre pas dans le matériau, il faut que le diamètre des pores de celui-ci soit de l'ordre de 5/100 mm.

D'un autre côté, il ne faut pas enduire des surfaces qui n'auraient pas été nettoyées au préalable, sinon, le film de silicone serait déposé sur les granules de poussière que le premier vent pourrait enlever.

b) Aussi est-il souvent recommandé, après avoir nettoyé les surfaces, d'utiliser des peintures à base de ciment ou de silicates alcalins dont les propriétés sont bien connues; en ajoutant à l'eau de gâchage de ces peintures 2 à 4% d'une silicone spéciale (siliconate alcalin), les fins granules projetés vien-

ment réduire le diamètre des pores du matériau et sont eux-mêmes hydrofugés. Les résultats obtenus jusqu'ici sont remarquables.

2° Hydrofugation des textiles

On conçoit tout l'intérêt que présente l'hydrofugation des manteaux, imperméables, dans les pays à forte densité de pluie annuelle; on sait aussi que les intendances militaires exigent l'hydrofugation des vêtements de toile et des tentes des armées; il est intéressant également de pouvoir hydrofuger, tout en les laissant perméables aux gaz, les tissus fins généralement synthétiques utilisés en lingerie.

Les silicones spéciales utilisées pour cette application ont apporté un grand progrès sur les produits organiques usuels, pour les deux raisons suivantes :

- Leur composition chimique les rend réactives vis-à-vis des radicaux oxydrides des fibres de la cellulose, provoquant ainsi un accrochage très solide.
- Leur résistance aux agents détersifs utilisés pour les lavages et leur insolubilité après traitement dans les solvants utilisés pour les nettoyages à sec permettent d'obtenir la plus grande efficacité de l'hydrofugation.

Des mises au point récentes ont montré tout leur intérêt pour un prix de revient comparable à celui des produits usuels. Malheureusement, ces silicones spéciales ne peuvent être obtenues que par emploi des sous-produits de la fabrication des autres silicones, aussi sont-elles disponibles en quantités très faibles et les fabricants les réservent en général à des emplois bien particuliers. Il faut espérer cependant que leur fabrication sera étendue et que l'industrie du textile pourra en disposer dans un avenir prochain.

3° Hydrofugation des papiers

Les problèmes intéressant cette industrie sont assez particuliers. Il s'agit de papiers bon marché de grande vente, tels que les papiers d'emballages extérieurs ou les papiers utilisés pour la confection de nappes, etc. Les silicones mises au point sont de plusieurs types :

- ou bien elles sont solubles dans l'eau et elles peuvent être introduites dans les piles, mais lors de la fabrication du papier, une grosse partie part avec les eaux augmentant fortement le prix de revient ;
- ou bien elles sont employées après fabrication du papier et par imbibation et séchage de celui-ci, soit en solution aqueuse, soit en solution solvant. Dans ces cas, il en faut des quantités moindres pour un résultat excellent.

Les silicones utilisées peuvent être, soit des résines, soit des fluides, soit des siliconates alcalins. Ces derniers sont d'emploi plus facile et de prix de revient plus bas.

4° Hydrofugation de la verrerie

Ceci concerne surtout le matériel de laboratoire et le conditionnement des produits pharmaceutiques. De nom-

breux brevets ont été déposés sur cette application. Les trois types de silicones utilisés sont les suivants :

- a) Par double traitement, d'abord par des chlorosilanes et ensuite avec des solutions d'huile à 4% (tel est le cas des isolateurs en verre ou en céramique, porcelaine, etc., utilisés dans l'industrie électrique).
- b) Des fluides spéciaux qui s'hydrolysent après avoir été déposés en film mince sur les supports en utilisant le film d'eau adsorbé que l'on trouve généralement sur ceux-ci. Une cuisson ultérieure donne une hydrofugation durable.
- c) Emulsion aqueuse d'huile employée à très faible concentration d'huile (de 5/1000 à 5/100), puis cuisson énergétique.

C'est cette méthode qui est utilisée en particulier pour hydrofuger les nappes de fibres de verre utilisées comme calorifugeants, soit dans la construction des maisons, soit dans la fabrication des appareils industriels (calorifugeage des fours ou des réfrigérateurs).

5° Hydrofugation et protection du cuir

Il s'agit là d'une application très récente, qui a été diffusée par la littérature américaine et qui est largement employée dans ce pays.

Il a été remarqué que si l'on traite les cuirs avec une composition contenant 10% en poids de résine silicone, les cuirs, après avoir retenu en poids 0,3% de produits secs contenus dans ce mélange, deviennent hydrofuges et résistent très bien à la fois aux agents climatiques et aux agents biologiques.

B. Les produits d'entretien et les peintures organiques

L'emploi des silicones dans les produits d'entretien et les peintures organiques séchant à l'air, a apporté une amélioration sensationnelle de ces produits.

Le mécanisme et le processus d'action des silicones sont les suivants : on utilise des fluides incompatibles avec les autres composants organiques de ces produits. Il s'ensuit que, lors du séchage sur les surfaces enduites et au fur et à mesure que la concentration en solvants diminue, la silicone exsude vers la surface pour former un film très mince et continu dont les propriétés essentielles sont l'accroissement du brillant et de la profondeur de la couleur, le non-collage des poussières, boues et pollutions usuelles pouvant tomber ultérieurement sur ces surfaces, enfin la non-mouillabilité par l'eau de ces mêmes surfaces lorsqu'elles sont soumises aux lavages et à la pluie.

Les types de silicones à utiliser ont été nettement caractérisés par de multiples essais effectués dans les laboratoires, à la fois des fabricants de silicones et des grandes sociétés de produits d'entretien et peintures. L'expérience a montré que :

- a) Pour les produits d'entretien de carrosseries automobiles, il fallait des huiles méthyl d'une viscosité de 100 est à la température ambiante, à une concentration de 2% dans le produit prêt à l'emploi.
- b) Pour les meubles vernis en particulier, il fallait des fluides méthyl d'une viscosité de 500 est à la température ambiante et à une concentration comprise entre 1 et 2%.
- c) Pour les peintures séchant à l'air, soit à l'huile de lin cuite, soit à l'huile de bois de Chine, soit aux résines glycérophthaliques ou vinyliques, il fallait des fluides spéciaux en général méthyl, d'une viscosité de 120 est à la température ambiante.

C. Les agents de démoulage

C'est une des applications les plus importantes des silicones en raison des avantages qu'ils apportent. Les principaux emplois de ces produits sont les suivants :

a) Industrie du caoutchouc

Ils se sont imposés rapidement en raison des avantages offerts, dont les principaux sont les suivants :

- Parce qu'ils résistent à des températures de 200/250°C, ils ne laissent pas de trace charbonneuse et conservent dans un état de propreté remarquable les moules utilisés.
- Parce qu'ils sont incolores et inertes chimiquement, ils ne laissent aucune trace de coloration sur les mélanges clairs (flancs blancs des pneus, pièces moulées claires, etc.).
- Parce qu'ils sont inodores et pistolables en dispersion aqueuse, ils contribuent à la propreté des ateliers et au bien-être du personnel. Ils suppriment en particulier les fumées.
- Ils permettent la mise en œuvre immédiate des moules neufs, à condition que ces derniers, après dégraissage, aient été enduits d'une mince pellicule d'huile silicone.
- Parce que les dilutions utilisées sont très faibles et parce qu'ils s'opposent à l'encrassement des moules par des déchets carbonisés des mélanges caoutchoutiques, ils permettent de réduire la fréquence de nettoyage des moules et font baisser les prix de revient.
- Par suite de leur inertie et de leur résistance aux agents chimiques contenus dans les mélanges de gommes traités, leur pouvoir anti-adhérisant est beaucoup plus puissant que celui des agents organiques usuels de démoulage. Il en résulte une grande facilité de démoulage et la suppression des arrachements de pastilles sur les objets à profils complexes tels que les pneus.
- Toujours en raison des incompatibilités avec les mélanges caoutchoutiques crus ou vulcanisés, ils laissent une pellicule extra-mince sur la surface de ces pièces, qui accroît le brillant et l'aspect de celles-ci.

On ne tire cependant un parti complet de ces propriétés inusuelles qu'en respectant certaines règles d'emploi, et l'expérience a montré que de nombreux insuccès étaient dus à la non-observation des recommandations faites par les fabricants de silicone. C'est ainsi que :

- Il est indispensable de n'employer ces produits sur des moules usagés que si ceux-ci ont été préalablement et parfaitement nettoyés. En effet, tous les métaux des moules sont micro-poreux, et par suite de la pression et de la température, ces porosités se remplissent petit à petit de matières organiques plus ou moins volatiles se carbonisant à la longue. Comme les silicones utilisées sont incompatibles avec ces matières, le mince film déposé pour obtenir l'antiadhérence ne pourra pas mouiller convenablement le métal du moule et s'en ira avec le mélange traité. Il faudra recharger souvent et on pourra avoir des zones de collage.

- Il existe de nombreux procédés de nettoyage des moules employés dans l'industrie de caoutchouc. Ceux mettant en œuvre la chaleur sont toujours bons, à condition que celle-ci soit élevée (300/400°C). Certains autres utilisent des solutions alcalines chaudes. Si les moules ainsi décapés ne sont pas soigneusement rincés, d'abord à l'eau chaude, ensuite à l'eau froide et que les surfaces métalliques du moule présentent une réaction alcaline, les films minces d'huile silicone déposés sur ces surfaces se gélifieront, perdant ainsi tout pouvoir anti-adhérisant. On obtiendra alors des collages mettant en cause la silicone. Il faut retenir que les huiles silicones anti-adhérisantes sont très sensibles aux alcalis.

- Pour réduire le prix de revient de ces agents de démoulage silicones, certains utilisateurs pensent bien faire en diluant les produits livrés à des concentrations inférieures à celles suggérées par le fabricant de silicones. Ils s'étonnent de ne pas retrouver les avantages revendiqués. Par exemple, sur des moules en acier multi-cavités, en employant les émulsions d'huile silicone à une concentration de 0,5% en huile, on peut diminuer la fréquence des nettoyages du moule d'une fois par semaine à une fois tous les quatre mois. Si l'on fait le calcul du gain résultant d'une dilution plus poussée de l'émulsion, vis-à-vis du gain résultant de l'absence de nettoyage du moule chaque semaine pendant quatre mois, on constate que l'on est dans le rapport de 1 à 10.

- Ces agents de démoulage silicones sont exclusifs, c'est-à-dire qu'il ne faut à aucun moment de leur emploi, soit par inadvertance, soit systématiquement, les utiliser conjointement avec des agents de démoulage organiques qui atténueront leur efficacité.

b) Industrie des matières plastiques

Trois types de produits sont employés :

- Pour l'enduction des séparateurs utilisés pour la fabrication des stratifiés sous pression, ce sont des pâtes tenant à haute température et de grande viscosité. Il suffit d'en mettre un film très mince qui tient pendant de nombreuses heures sans avoir à recharger.
- Pour l'enduction des rouleaux des machines destinées à faire les tubes en papier ou en toile, enduits de résines organiques, ce sont des émulsions aqueuses ramenées à une concentration de 0,5 à 1% et pistolée sur les surfaces propres des cylindres à chaud.
- Pour le moulage par injection, on utilise des aérosols, par pulvérisation des solutions dans des solvants ne pouvant pas attaquer les matières plastiques injectées, à une concentration de 0,5%. Si ces aérosols sont employés en bombes, on utilise les fréons ou le chlorure de vinyle monomère ; s'ils sont employés dans des pulvérisateurs usuels, on utilise comme solvant soit le trichloréthylène, soit, mieux, le chlorure de méthylène.

c) Coulée ou injection des alliages à bas point de fusion (alliage de zinc ou alliage d'aluminium)

On utilise des émulsions aqueuses d'huile silicone contenant en outre une dispersion de graphite colloïdal lamellaire et de poudre micronisée de mica et d'amiant.

D. Les silicones tensio-actives

Il y a deux applications importantes de ces silicones, très particulières :

1° Silicones anti-mousses

Il y a trois types d'antimousses silicones employés généralement à des doses variant de 1 à 100 parties par million de parties du milieu à démousser ; dans les cas suivants :

- a) Milieux non aqueux (fabrication de produits organiques divers tels que matières plastiques, résines, ou goudron pour enduction des routes, composition antigel pour radiateurs, etc.), on emploie un antimousse insoluble non dispersable dans l'eau.
- b) Milieux aqueux (industrie du papier, des colles, industries alimentaires telles que fermentation du vin ou conditionnement du lait, industrie du sucre, fabrication des savons, fabrication des levures, huiles de coupe, huiles solubles, eaux de chaudières), on emploie un antimousse spécial facilement dispersable dans l'eau.
- c) Anti-moussage des huiles de graissage de tous les moteurs à explosion utilisant des carburants légers ; on sait en effet que ces huiles de graissage dissolvent les carburants lorsqu'elles sont à leur

contact et restituent ceux-ci dans le circuit de graissage en désamorçant les pompes. On utilise un antimousse très spécial qui est un fluide de composition chimique bien déterminée ; il doit présenter une homogénéité parfaite de la dimension et de la structure de ses molécules, et une viscosité très constante.

2° Agents de flottation

On sait que les peintures organiques pigmentées peuvent donner lieu au stockage et lors de leur emploi à des incidents tels que : séparation des pigments foncés dans les pigments clairs, décantation des pigments, phénomène de « peau d'orange » lors du pistolage ou traces de poils de pinceau.

Un fluide silicone de structure moléculaire spéciale présentant une viscosité très faible à la température ambiante (15 à 20 °C) utilisé à des doses de 1 à 10 parties par 10 000 parties de la peinture prête à l'emploi, supprime tous ces inconvénients. Dès sa commercialisation, ce produit a eu un emploi généralisé.

E. Les élastomères silicones

1° Généralités

Leur préparation est très délicate, et bien que l'on puisse espérer une diminution sensible de leurs prix, ils resteront des produits chers non destinés à concurrencer les élastomères naturels ou synthétiques.

En dehors des propriétés générales des silicones qui ont été rappelées ci-dessus, leur intérêt primordial est leur tenue à la température. Il faut préciser qu'il existe plusieurs types d'élastomères silicones, ceux résistant à très haute température (+ 250 °C) et ceux restant flexibles à très basse température (-85 °C).

L'expérience de ces dernières années nous a montré que :

- a) Les gommes fabriquées doivent être chargées avec des pigments tenant aux mêmes températures, des catalyseurs de polymérisation et des produits d'addition destinés à modifier certaines caractéristiques mécaniques telles que le taux de compression. Chaque application particulière requiert une composition des mélanges différente ; il est donc souhaitable que les industriels transformateurs puissent préparer eux-mêmes leurs mélanges.
- b) Les charges convenant aux gommes silicones ne sont pas les mêmes que celles utilisées pour les caoutchoucs naturels ou synthétiques ; seules les silices et les oxydes de fer conviennent. Les silices très fines (0,1 à 0,5 microns) obtenues par voie chimique accroissent les caractéristiques mécaniques et apportent la sensibilité à l'eau et à la vapeur d'eau. Les silices diatomées (5 à 20 microns), si elles sont calcinées, améliorent l'allongement et la résistance au déchirement ; si elles ne sont pas calcinées, ces deux caractéristiques sont diminuées, mais on obtient une très bonne résistance à l'eau et à la vapeur d'eau.

c) Les gommés silicones chargées dans des proportions variables avec les agents indiqués ci-dessus peuvent se mettre en œuvre avec les équipements usuels avec toutefois les restrictions suivantes :

- Il faut toujours les cuire sous pression, même dans le cas de l'extrusion. On peut donc utiliser les installations de boudinage pour caoutchouc, mais pas les boudineuses pour matières plastiques.
- Après ce début de polymérisation sous pression et à température relativement faible (150°C) pendant des temps courts (10 à 30 minutes), il faut obligatoirement recuire sans pression en étuve 24 heures à 250°C en mettant environ 5 heures pour, partant de l'ambiance, atteindre 250°C.

d) Les meilleurs catalyseurs de polymérisation sont les peroxydes organiques, et le plus employé est le peroxyde de benzoyle. Comme il présente des dangers de manipulation, on l'introduit lors du mélange sous forme de pâte contenant parties égales de peroxyde pur et d'huile silicone. Une telle pâte peut s'employer sans danger. Les autres peroxydes sont beaucoup moins réactifs.

e) Les gommés silicones présentent par elles-mêmes des taux de compression élevés (50 à 80%). Pour beaucoup d'applications, il faut diminuer ce taux à des valeurs comprises entre 15 et 30%. On peut utiliser des perphtalates, des peradipates ou des peracétates, mais le meilleur produit est l'oxyde mercurieux. Il est utilisé généralement en quantités égales à celles du catalyseur, c'est-à-dire 2,5 parties en poids pour 100 parties de gomme et 100 parties de charge.

Comme les industriels ne disposent pas toujours d'un appareillage spécial pour la mise en œuvre de ces élastomères, les fabricants de silicones préparent eux-mêmes des mélanges prêts à l'emploi qui conviennent pour les applications les plus générales; mais il faut bien insister sur le fait qu'il serait de beaucoup préférable qu'ils livrent seulement les gommés, les catalyseurs et les produits d'addition, en laissant le soin à ces industriels transformateurs de préparer les quantités désirées de mélanges spéciaux, sur leurs suggestions et pour chaque application déterminée.

2° Propriétés générales de ces élastomères

Les indications qui suivent ne concernent que des pièces moulées ou extrudées qui ont été recuites 24 heures à 250°C.

- a) *Dureté*: en employant l'échelle Shore A, on sait faire varier la dureté de 10 à 95.
- b) *Résistance à la traction*: elle est très faible vis-à-vis de celle des élastomères usuels et elle est comprise entre 50 et 75 kg/cm².
- c) *Allongement à la traction*: suivant la quantité et la nature des charges, on peut la faire varier de 50 à 400%.

d) *Taux de compression*: on sait faire varier le taux de compression entre 15 et 90%.

e) *Résistance au déchirement*: elle est très faible et ne dépasse guère quelques kg par cm².

Il faut bien se garder, lorsque l'on cherche des élastomères tenant à des températures soit très inférieures, soit beaucoup plus élevées que celles supportées par les élastomères naturels, d'essayer de reproduire les propriétés mécaniques de ces derniers. Une pièce moulée en élastomère silicone, de dureté 50, d'allongement 300% et de taux de compression 60% peut très bien donner satisfaction là où il fallait une pièce moulée en perbunan de dureté 90, d'allongement 50% et de résistance à la traction 250 kg/cm².

3° Les emplois des élastomères silicones

a) Élastomères silicones pour très basses températures

- Joints d'ouverture d'avions: on prépare des mélanges de dureté Shore A 10, qui sont soit découpés en bandes dans des plaques moulées, soit extrudés en bandes en continu.

Ces bandes servent de joints d'étanchéité pour toutes les ouvertures des avions militaires ou civils; elles sont collées ou encastrées sur les plaques d'aluminium constituant ces ouvertures.

- Amortisseurs de vibration d'avion: on sait que tous les appareils délicats (mesures ou radio) sont suspendus dans les cellules sur des joints élastiques destinés à absorber les vibrations.

Les élastomères silicones ont la propriété d'absorber 80% des vibrations entre -40 et 0°C, là où les élastomères usuels n'en absorbent que 20%.

- Joints d'étanchéité des machines frigorifiques pour très basse température: cette application se conçoit d'elle-même.

b) Caoutchoucs pour hautes températures

AVIATION

- Joints des turbo-réacteurs. Sur des turbo-réacteurs étrangers, il y a vingt joints différents devant résister à 250°C.
- Amortisseurs de vibration des moteurs à explosion. Cette application très particulière a donné d'excellents résultats. On extrude un mélange cru supporté par un ruban de verre enduit d'élastomère, et on fixe deux bandes sur les ailettes de refroidissement par air des moteurs d'aviation. En fonctionnement, il y a polymérisation et collage de ces pièces sur les ailettes et suppression des vibrations en vol. L'emploi des élastomères silicones se justifie par le fait que, lors des essais à plein rendement des moteurs au sol avant chaque envol, la température de ces ailettes atteint 250°C.

- Câbles d'allumage des moteurs à explosion et câbles des thermo-couples des turbo-réacteurs. Les systèmes blindés d'allumage sont gainés en caoutchouc silicone, en raison d'une part de leur résistance à l'ozone et d'autre part de leur résistance à la chaleur. Le système comporte des câbles et des pièces moulées pour embouts terminaux. Au contact des bougies chaudes, il n'y a pas destruction des élastomères, et le système d'allumage est complètement à l'abri de l'eau et de l'humidité.
- Tuyaux souples à base de tissu de verre pour canalisations véhiculant des fluides chauds (circuits de réchauffage des moteurs ou de climatisation des cellules véhiculant de l'air à 225 °C).

AUTOMOBILES

Il s'agit surtout d'engins militaires amphibies destinés à servir dans des contrées très froides ou très chaudes. Tout le câblage électrique et l'installation blindée d'allumage sont en caoutchouc silicone. En outre, tous les cardans de renvoi des mouvements sont enfermés dans des soufflets d'élastomère silicone moulé et remplis de graisse. Il en est de même des cardans de freins.

L'emploi des caoutchoucs silicones se justifiait pour permettre l'étanchéité absolue à l'eau avec des pièces d'étanchéité au contact direct des carcasses des moteurs et des bougies.

ÉLECTRICITÉ

C'est un débouché très important qui résulte d'une technique nouvelle. Deux types d'élastomères silicones sont utilisés pour enduction des tissus de verre en pièce donnant lieu ensuite à découpage des rubans, par utilisation :

- soit de pâte caoutchoutique silicone diluée par solvants et enduite sur les tissus avec les machines usuelles à râcles, avec cuisson de :

10 minutes à 100 °C,
10 minutes à 200 °C,
20 minutes à 250 °C,

- soit par des élastomères silicones qui sont déposés sur le tissu de verre par calandrage avec cuisson en continu de 5 à 10 minutes à 75/95 °C, découpés ensuite en rubans.

Dans les deux cas, ces rubans de verre enduits de caoutchoucs silicones sont utilisés pour l'isolement des conducteurs électriques, soit sous forme de câbles, soit sous forme de bobines.

Lorsque la machine est terminée, on cuit à 250 °C et il y a collage des isolants silicones entre eux, sans qu'il soit nécessaire ultérieurement d'imprégner les machines avec les résines suivant la technique connue. Ces machines peuvent travailler en continu à 200 °C.

INDUSTRIES DIVERSES

- Joints des portes d'étuves et des fours.
- Joints des fours de cuisinières électriques ou à gaz.
- Joints des appareils de cuisson autoclaves ou des pots à conserve familiaux.
- Joints pour robinets, vannes ou étanchéité de tous les circuits d'eau chaude ou de fluides chauds.
- Joints des circuits de refroidissement des moteurs diesel (très large débouché).
- Joints pour tous les appareillages et industries chimiques ou pétrolières travaillant à haute température.
- Diaphragmes des pompes de transfert des fluides chauds.

c) Usages particuliers

USAGES THÉRAPEUTIQUES

- Bouchons pour flacons à médicaments ou flacons de conservation de plasma sanguin et de sérums, pouvant permettre une stérilisation à 180/200 °C et la non pollution du contenu des flacons par les agents vulcanisants ou autres des caoutchoucs ordinaires.
- Tuyaux et tubes pour transfusions sanguines ou opérations chirurgicales, pouvant être stérilisés à haute température.
- Diaphragmes avec parois souples devant être en contact avec la peau (ultra-sous, haute-fréquence, etc.).

Nota: Il est intéressant de noter que des drains, sondes et tuyaux souples en élastomères silicones peuvent être introduits dans le corps humain pendant des temps très longs, sans que les tissus en contact réagissent. Nous connaissons le cas de plusieurs opérés, qui ont depuis plus de quatre ans de tels tubes flexibles sans en ressentir aucune gêne. Ceci tient à l'inertie chimique des élastomères silicones et à leur non-mouillabilité.

USAGES ÉLECTRIQUES

- Fabrication de câbles pouvant résister à haute température ou à très basse température, mais surtout ne présentant pas les variations de résistance d'isolement en fonction de la température, comme c'est le cas généralement pour les élastomères usuels ou les matières plastiques.

Un autre avantage de ces câbles est qu'en cas d'incendie, les élastomères silicones détruits par le feu, laissent un gainage de silice qui reste isolant même pendant la combustion, surtout si l'on a pris soin d'introduire dans ces mélanges les charges spéciales retardant leur combustion.

- Joints d'étanchéité pour toutes pièces détachées électriques ou radio-électriques :
 - interrupteurs et contacteurs d'aviation,
 - condensateurs étanches ou transformateurs étanches,
 - toutes pièce isolantes élastiques nécessaires dans les appareils chauffants (fours, cuisinières, etc.).

Il faut mentionner que l'on sait faire adhérer ces silicones sur différents supports au moyen d'adhésifs spéciaux, permettant également de coller entre eux, soit les métaux, soit le verre, soit les céramiques, et d'une façon générale, tous les matériaux inorganiques. Dans ce cas, il faut faire intervenir la pression et la chaleur.

F. Les isolants électriques à base de silicone

On sait que les isolants électriques rentrent dans une classification générale correspondant à leur température normale de service, internationalisée :

- La classe A correspond à des isolants organiques enduits ou imprégnés de résines organiques (température de service 80°C).
- La classe B correspond à des isolants inorganiques enduits ou imprégnés de résines organiques (température de service 120°C).
- La classe C correspond à des isolants inorganiques enduits ou imprégnés de résines mixtes silicones - organiques (température de service 150°C).
- La classe H correspond à des isolants inorganiques enduits ou imprégnés de silicones qui peuvent être, soit des résines, soit des pâtes caoutchoutiques, soit des élastomères (températures de service : 200°C avec pointes possibles à 250°C).

1° Types de silicones utilisées dans cette industrie

- a) Les isolants possibles sont :
 - les fibres de verre sous forme de tissus, de rubans, de cordons ou tresses ;
 - les fibres d'amiante sous forme de papiers, de rubans, de tissus, de cordons ou tresses ;
 - les micas sous forme de splittings ou de papiers.
- b) Les silicones d'enduction de ces isolants sont :
 - soit des résines en solution ;
 - soit des pâtes mises en solution et enduites à la râpe ;
 - soit des élastomères ou leurs mélanges calandrés sur les supports.
- c) Les silicones d'imprégnation sont :
 - soit des résines glycérophthaliques - silicones pour la classe C ;
 - soit des résines silicones pures pour la classe H.

2° Technique d'utilisation

Il y a maintenant deux techniques commercialisées :

- a) On utilise les techniques traditionnelles de confection des machines électriques et l'on est conduit à imprégner ces machines après fabrication. Dans ce cas, les isolants définis ci-dessus peuvent être de tous les types.
- b) Ou bien, on utilise une technique nouvelle dite «isolement à sec» qui supprime les imprégnations et qui fait un large emploi des tissus de verre ou papiers d'amiante spéciaux enduits d'élastomères silicones.

Dans tous les cas, et c'est une nécessité absolue, les machines sont chauffées en étuve avant mise en service, à 250°C pendant une heure avec montée très lente en température.

Une exception cependant pour les machines classe C, car les résines mixtes silicones-glycérophthaliques sont bien polymérisées avec une cuisson d'une heure seulement à 200°C.

3° Type des isolants fabriqués industriellement

Ils sont multiples et ceux qu'on trouve généralement sont les suivants :

- a) rubans de verre ou d'amiante enduits de résines ou de pâtes silicones ;
- b) fils de bobinage émaillés ou guipés de fibres de verre enduits de résines silicones ;
- c) stratifiés durs ou souples à base de tissus de verre ou de papiers de mica, ou de splittings de mica.
- d) tissus de verre, tissus d'amiante ou de fibres de verre, papiers d'amiante ou papiers de mica, enduits de pâte silicone ;
- e) poudres à mouler résistant à hautes températures ;
- f) souplesseaux en fibres de verre ou d'amiante enduits de résines ou de pâtes caoutchoutiques silicones ;
- g) câbles soit boudinés avec des élastomères silicones, soit isolés par des complexes verre - amiante - résines conférant à ces derniers l'incombustibilité ;
- h) résines silicones pures d'imprégnation ;
- i) résines mixtes silicones - glycérophthaliques.

4° Principales applications

- a) Technique usuelle avec imprégnation
 - toutes les machines électriques utilisées en aviation et situées dans des endroits non climatisés (démarrage à -50°C, et par suite de la puissance mise en jeu, température de 250°C atteinte en quelques secondes) ;
 - alternateurs, génératrices, refroidis par air, jusqu'à 2000 kVA, utilisés dans la marine ;
 - tous les moteurs de traction des locomotives électriques, de toutes les locomotives Diesel électriques ;
 - tous les moteurs industriels travaillant dans des ambiances chaudes (fonderie, laminage) ou étant soumis à des à-coups de puissance très violents (machines-outils spéciales, etc.) ;
 - tous les moteurs usuels rebovinés.
- b) Technique de l'isolement à sec
 - tous les transformateurs de soudure ;
 - tous les transformateurs de distribution jusqu'à 2000 kVA ;
 - tous les transformateurs de petite puissance utilisés en aviation.

- c) Machines classe C (résines mixtes silicones – glycérophthaliques) : tous les appareillages d'automatisme et de télécommande des :
- installations à bord des navires de guerre,
 - installations à bord des avions,
 - installations à bord des bateaux de commerce,
 - centrales électriques,
 - stations de *dispatching*, etc.

G. Les émaux silicones

En raison des différences importantes des coefficients de dilatation linéaire à la chaleur des supports métalliques (comprise entre 10 et 20×10^{-6}) et des résines silicones (150 à 250×10^{-6}), on a constaté que les émaux préparés à base de silicones pures :

- a) n'avaient aucune adhérence sur les supports ;
- b) n'avaient aucun pouvoir anti-rouille ;
- c) nécessitaient un parfait dégraissage des tôles et une préparation de leur état de surface par action, soit de l'acide phosphorique, soit de l'acide chromique (les procédés usuels de bondérization et de parkérization conviennent bien).

Ceci tient au fait que, par suite de ces différences de dilatation, les émaux silicones portés à haute température, se décolent des supports et deviennent microporeux. Il faut ajouter que parmi les produits commercialisés à l'heure actuelle, aucun émail silicone, blanc ou coloré, ne peut résister à une température de service supérieure à 300°C avec des pointes de courte durée à 350°C . Il est possible d'envisager dans l'avenir des émaux tenant à 450°C , mais les résines nécessaires sont actuellement à un prix tellement élevé qu'il n'est pas possible de les commercialiser.

On prépare cependant des émaux silicones pour haute température, malgré les inconvénients signalés ci-dessus. On a trouvé en effet que :

- certaines résines silicones étaient compatibles avec des résines organiques (en particulier les glycérophthaliques) ;
- un mélange de résines silicones et de résines organiques pigmentées avec de la poudre d'aluminium et utilisées comme sous-couche d'un émail silicone pure apporte :
 - l'adhérence au support,
 - l'imperméabilité du film (donne la résistance à la corrosion de la tôle),
 - la souplesse à chaud,

sous réserve que la sous-couche soit cuite à une température supérieure à celle de l'émail. Cette solution est retenue lorsque ces émaux sont employés sur des tôles travaillant à des températures comprises entre 250 et 300°C .

Lorsque les supports ne sont jamais portés à des températures supérieures à $225/250^\circ\text{C}$, on utilise des émaux blancs ou colorés à base de résines mixtes glycérophthaliques silicones.

Enfin, pour les peintures aluminium pour haute température, il faut utiliser des résines mixtes de même nature.

Certains problèmes spéciaux tels que le revêtement des cuves intérieures d'armoires frigorifiques ou de machines à laver, nécessitent une protection très efficace contre la corrosion des tôles supports ; dans ce cas, il est recommandé de passer d'abord une sous-couche organique dont les propriétés anti-rouille ont été sanctionnées par l'expérience. On sait que les fabricants de peintures préparent de nombreux produits répondant à cette exigence.

H. Les fluides

En dehors des emplois comme agents de démoulage, on peut mentionner les principales applications suivantes de ces fluides :

1° Aviation

- recouvrement des surfaces pouvant givrer à haute altitude, afin de faciliter le départ des glaçons formés ;
- fluides de refroidissement des moteurs en raison de leur stabilité aux variations de température (ces fluides passent de $+150^\circ\text{C}$ au contact des cylindres à -20°C dans les radiateurs) ;
- fluides diélectriques pour toutes les pièces détachées électriques et radioélectriques de l'équipement des avions (condensateurs, transformateurs, etc.) ;
- fluides peu visqueux comme liquides sustentateurs des compas.

2° Industrie mécanique ou électrique

- enduction des bacs d'accumulateurs pour éviter les pertes ou dépôts d'électrolytes (on enduit également les isolateurs de pieds et les bornes) ;
- les fluides de haute viscosité pour les amortisseurs de vibration de torsion (ces appareils sont placés sur les arbres moteurs) ;
- fluides de toutes viscosités pour les appareils de régulation des temps (disjoncteurs électriques et amortisseurs de choc, déclencheurs photographiques) ;
- huiles de graissage de tous les appareils photographiques et cinématographiques devant travailler à des températures très basses ;
- fluides de transfert de chaleur pour détermination des points de fusion ;
- fluides de stérilisation pour instruments chirurgicaux et dentaires ;
- fluides spéciaux pour bains à hautes températures ;
- fluides spéciaux pour pompes à vide.

3° Industries diverses

- fluides d'addition dans les lotions capillaires pour accroître le brillant du cheveu et la résistance de ces derniers aux différents lavages ;

- fluides d'addition aux différents carburants pour en modifier le point d'ébullition ou le point éclair, aux essences à haut indice d'octane, comme agents anti-détonants ;
- fluides d'addition pour stabilisation des parfums ;
- fluides spéciaux utilisés comme insecticides ;
- fluides mis en émulsions aqueuses pour le traitement des films cinématographiques amateurs ou professionnels afin de soustraire ceux-ci au vieillissement apporté par le choc thermique des lampes de projection, et aux absorptions d'eau au stockage.

I. Les graisses

Étant donné la résistance à la température des huiles silicones, on prépare déjà depuis un certain temps, des graisses, soit pour très basse, soit pour très haute température, en ajoutant à ces huiles des dopes d'onctuosité, constitués généralement par des savons métalliques ou des produits spéciaux tels que les phthalocyanines de cuivre ou de zinc. Ces savons, qui peuvent être du type stéarate, octoate ou laurate, sont généralement de lithium ; comme les phthalocyanines, ils résistent à haute température.

J. Produits spéciaux

a) Gommages spéciaux

Elles ont été inventées et mises au point par la G. E. et elles sont plus connues sous le nom de «*Bouncing Putty*». Leurs emplois font l'objet de nombreuses mises au point à l'heure actuelle, car elles possèdent la propriété d'être des fluides de haute viscosité non newtoniens et de relever des lois de la rhéologie. Les principaux emplois sont les suivants :

- amortisseurs de choc (automobiles, aviation) ;
- amortisseurs de vibration de torsion ;
- amortisseurs spéciaux pour sièges de soupapes ou de vannes automatiques à fermeture rapide ;
- amortisseurs d'oscillation pour les machines outils, les compresseurs et les presses d'emboutissage ou de découpage des tôles ;
- balles de golf . . .

Toutes ces applications reposent sur les propriétés essentielles suivantes :

- lorsqu'elles sont soumises à une faible pression, ces gommages fluent ;
- lorsqu'elles sont soumises à une forte pression, elles se transforment en un solide indéformable ;
- elles se ressoudent à elles-mêmes en un temps très court ;
- elles présentent une viscosité à peu près constante en fonction de la température.

b) Pâtes

Ce sont des produits de haute viscosité provenant de la transformation des huiles dont les principaux emplois sont :

- diélectriques de remplissage (aviation, automobiles, électricité, radio) ;
- agents de démoulage spéciaux pour haute température (alliages légers, fonderie . . .) ;
- enduction de supports souples tels que papiers pour emballages et conditionnement à chaud des sous-produits résultant des distillations (goudrons, brais).

c) Pâtes caoutchoutiques spéciales

Elles sont principalement utilisées après polymérisation :

- comme agents d'amortissement de vibration ;
- comme compounds de remplissage de matériel électrique ou radio-électrique fabriqué suivant la méthode dite d'isolement à sec.

Seules les principales utilisations ont été rapidement résumées ci-dessus. Elles correspondent aux débouchés actuels les plus importants, mais il existe bien d'autres applications mettant en jeu les propriétés inusuelles de ces produits, tels par exemple :

- l'enduction par des résines silicones spéciales de tous les moules utilisés en boulangerie et même en biscuiterie ;
- le traitement des tissus de verre ou d'amiante par d'autres résines pour constituer des écrans électrostatiques dans les circuits de ventilation pour arrêter les poussières ;
- l'enduction par des huiles silicones très diluées ou par des pâtes, de tout le petit appareillage électrique moulé en matière plastique organique sur lequel on désire éviter les condensations, origines des pertes ;
- enduction des tubes de verre extérieurs des lampes fluorescentes pour éviter les ratés d'allumage, etc.

IV. Conclusions

Il faut se souvenir que, d'une part, toutes les silicones commercialisées sont améliorées au fur et à mesure que les recherches s'avancent.

D'autre part, de nouvelles silicones sont en essai pour résoudre d'autres problèmes, dont il est prématuré de faire état ici.

Étant donné les progrès réalisés sur ces produits dans les six dernières années, il est à prévoir que l'énumération qui précède paraîtra assez désuète dans un avenir de même durée. Ce sera la meilleure preuve que les énormes recherches et moyens mis en œuvre pour les développer répondaient à une nécessité et ont bien atteint leur but qui est avant tout de servir l'industrie.

Les silicones comme tous les produits nouveaux sont encore chères. Plus la consommation de ces produits augmentera, plus il sera possible d'envisager des procédés de fabrication peu onéreux et plus leurs prix baisseront, étendant ainsi considérablement leur champ d'application.