Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 39 (1948)

Heft: 5

Artikel: Quelques matières plastiques nouvelles utilisées dans les isolants électriques

Autor: Senarclens, G. de

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1057937

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 22.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

darzustellen. Die Gestaltungslehre befasst sich mit der Lehre der werkstoffgerechten, konstruktiven Behandlung der zu lösenden Aufgaben. Sie ist zu einer vielseitigen Kunst geworden, denn sie erfordert eine tiefe Beherrschung der Isolierstofftechnik und gleichzeitig der elektrischen Festigkeitslehre. Mit der exakten Rechnung allein lässt sich den Problemen nicht beikommen, ein durch Erfahrung und durch Rechnung gelenktes Gefühl ist unerlässlich. Die Lieferfirmen und Verbände können viel zur erfolgreichen Verwendung ihrer Produkte beitragen, wenn sie dem Ausbau und der Verbreitung der Eignungs- und Gestaltungslehre ihre volle und initiative Aufmerksamkeit schenken.

Eine sorgfältig ausgebaute Technik der Isolierstoffe und eine hoch entwickelte Wissenschaft ihrer konstruktiven und werkstattechnischen Anwendung wird die Qualität unserer elektrotechnischen Erzeugnisse sehr fördern. Elektrotechniker und Chemiker sollten sich noch mehr als bisher in gegenseitiger Achtung die Hand reichen und lernen, sich so auszudrücken, dass sie einander verstehen.

Adresse des Autors:
A. Imhof, Direktor der Moser-Glaser & Co. A.-G., Muttenz (BL).

Quelques matières plastiques nouvelles utilisées dans les isolants électriques

Conférence donnée par *G. de Senarclens*, Breitenbach (SO)

621.315.616.96

Après un bref exposé de l'évolution des matières isolantes thermoplastiques, l'auteur traite des propriétés chimiques et de la technologie des principaux groupes: caoutchouc synthétique, polyisobutylène, polyvinyle et polyéthylène.

Les nouvelles matières plastiques introduites depuis quelques années n'étaient pas de simples produits de remplacement destinés à la pénurie provoquée par la guerre, mais bien le début d'une évolution, grâce à laquelle nous disposerons bientôt de matières ayant des propriétés remarquables, nettement supérieures à celles des isolants actuels.

Der Autor beschreibt kurz die Entwicklung der thermoplastischen Isoliermaterialien und behandelt die Eigenschaften der wichtigsten Gruppen (synthetischer Gummi, Polyisobotylene, Polyvenile und Polyäthylene) in chemischer und technologischer Beziehung.

Die neuen plastischen Materialien, die während der letzten Jahre bekannt wurden, waren keine Kriegserzeugnisse, die nach kurzer Zeit verschwanden, sondern sie stellen den Anfang einer Entwicklungsperiode dar, die uns in nächster Zukunft Materialien mit hervorragenden, bisher unerreichten Eigenschaften liefern wird.

Les matières organiques appelées «Matières plastiques» ont pris un développement surprenant pendant ces dernières années et leur essor s'affirme toujours davantage. Elles sont répandues avec succès dans presque toutes les branches de la technique, en particulier dans le domaine des isolants électriques, où elles ont acquis une place prépondérante. Il serait néanmoins inexact d'admettre, comme on le fait souvent, qu'elles sont, pour la plupart, des matériaux nouveaux ayant trouvé un champ d'application pendant la guerre, en raison de la disparition de certains produits naturels. Le celluloid a été découvert il y a quatre-vingts ans, la fibre vulcanisée il y a environ soixante ans, la corne artificielle et les bakélites il y a quarante ans. Cependant, des progrès très importants ont été réalisés dans leur fabrication, sans lesquels leur mise en œuvre eut été impossible. D'autre part, des produits nouveaux d'un très grand intérêt ont fait leur apparition ces dernières années, grâce au développement considérable de la chimie industrielle. *Imhof* a relevé les propriétés diélectriques ou thermiques remarquables de certains d'entre eux.

Vous savez sans doute qu'on différencie les matières thermodurcissables des matières thermoplastiques. Les premières, auxquelles appartiennent les bakélites, les résines d'urée ou de la mélamine, durcissent sous l'effet d'une élévation de température, tandis que les matières thermoplastiques se ramollissent à chaud et reprennent leur état primitif au refroidissement. C'est principalement de cette dernière classe que je voudrais vous entretenir quelques instants, en particulier des matières plastiques qui ont été appelées à remplacer le caoutchouc dans les isolants électriques.

Il ne peut être question d'en énumérer les caractéristiques. Qu'il me soit simplement permis de vous en faire vivre le développement, de vous faire entrevoir les possibilités qu'offre la chimie moderne, enfin d'ouvrir une petite porte sur l'avenir de quelques matières plastiques.

Il y a 150 ans un savant français *La Condamine* apportait du Brésil une résine d'origine végétale, qui n'était autre que le caoutchouc. De petites quantités furent utilisées, sans succès d'ailleurs, pour imperméabiliser des manteaux de pluie ou pour effacer les traits de crayon (d'où le nom anglais «Rubber»). La résine manquait de plasticité, devenait collante à chaud et s'altérait rapidement au contact de l'air.

En 1839 *Goodyear* remarqua qu'en chauffant le caoutchouc avec du soufre et du carbonate de plomb, il perdait sa thermoplasticité et augmentait sa résistance chimique et mécanique. Cette découverte, une des plus importantes du siècle dernier, ne trouva pas d'explication scientifique. Il aurait fallu connaître pour cela la constitution chimique du caoutchouc qui ne put être fixée que vers 1900. En effet, si les chimistes sont habiles à déterminer la constitution et à faire la synthèse de produits bien définis, solides, liquides ou gazeux, il en est tout autrement lorsqu'il s'agit de reproduire des masses plus ou moins plastiques, se ramollissant lentement lorsqu'on élève la température et résistant bien aux agents d'investigation habituels.

On découvrit cependant que le caoutchouc était constitué par un corps chimique relativement sim-

ple, *l'Isoprène*, dont les molécules étaient groupées entre elles pour former ce qu'on a appelé plus tard un Haut-polymère.

Le désir de fabriquer le caoutchouc synthétiquement a toujours intéressé certains pays avides de se libérer des fournisseurs étrangers. Il n'est donc pas surprenant que des travaux aient été entrepris en Allemagne pour fabriquer l'isoprène industriellement, puis pour reconstituer le caoutchouc en liant

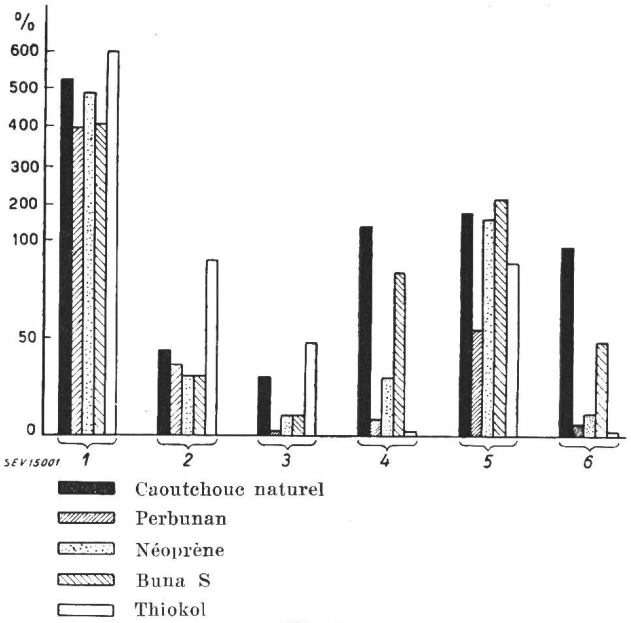


Fig. 1
Valeurs comparatives de quelques propriétés des caoutchoucs naturel et synthétiques
1 Allongement de rupture
2 Usure par abrasion
3 Diminution de la résistance à la traction après vieillissement à 70 °C
Augmentation du volume après immersion de 7 jours dans: *4* Essence pure, *5* Benzol, *6* Huile minérale

des milliers de molécules d'isoprène entre elles, opération à laquelle on donna le nom de polymérisation. En 1914, grâce aux recherches d'*Hofmann*, on était à même de fabriquer un caoutchouc synthétique correspondant sensiblement à un caoutchouc africain de médiocre qualité.

Des progrès n'étaient possibles que si la constitution des hauts-polymères pouvait être établie. Les discussions se sont développées autour de deux hypothèses: l'une d'elles les considérait comme formés de micelles, c'est-à-dire par l'association cohérente d'un nombre considérable de petites molécules monomères unies les unes aux autres par des valences secondaires, liaisons assez lâches, distinctes des liaisons primaires ou liaisons normales de la chimie organique et dues soit à des attractions entre atomes de polarité opposée, soit aux valences supplémentaires de certains atomes.

L'autre hypothèse, celle de *Staudinger*, qui a prévalu, veut que les hauts-polymères soient constitués de molécules géantes ou macromolécules où tous les atomes sont unis par des liaisons primaires.

Lorsque toutes les liaisons entre motifs constitutifs de la molécule géante sont développées principalement dans une seule direction de l'espace, les macromolécules ont une structure filiforme. C'est le cas entre autre du caoutchouc naturel et des polymères vinyliques dont nous parlerons dans un instant.

Lorsque l'enchaînement des motifs constitutifs se fait suivant deux directions de l'espace, la macromolécule prend l'aspect d'une nappe indéfinie. C'est le cas des kératines et aussi de certains silicates lamellaires du type mica.

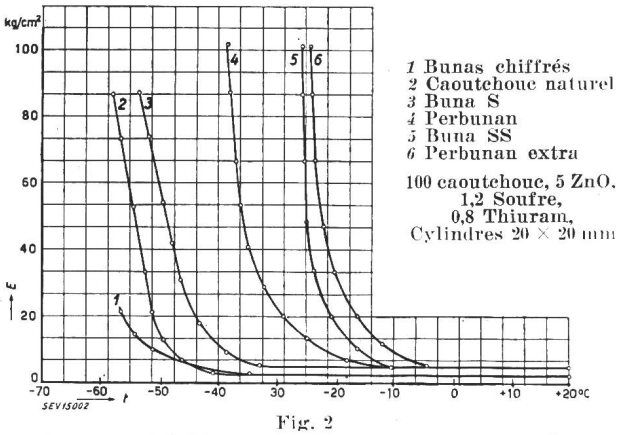


Fig. 2
Module d'elasticité (*E*) des caoutchoucs naturel et synthétiques en fonction de la température (*t*)

Enfin, lorsque les liaisons primaires entre motifs constitutifs se développent dans les trois dimensions de l'espace, on aboutit à des molécules géantes à réseau tridimensionnel: tel est le cas pour la plupart des résines thermodurcissables: bakélites, résines d'urée, etc.

Il appartenait aux chimistes de déterminer quelles molécules simples étaient susceptibles de se grouper en macromolécules et de quelle manière on pouvait provoquer la polymérisation, pour faire la syn-

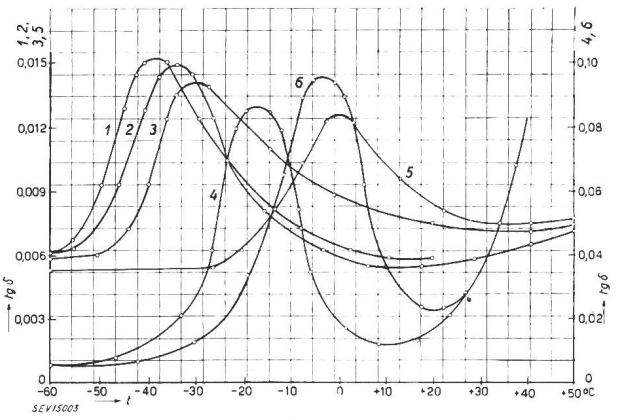


Fig. 3
Facteur de pertes (*tg δ*) des caoutchoucs naturel et synthétiques en fonction de la température (*t*) (d'après Roelig)
1 Bunas chiffrés, *2* Caoutchouc naturel, *3* Buna S, *4* Perbunan, *5* Buna SS, *6* Perbunan extra

thèse des hauts-polymères. Enfin il fallait chercher à savoir pourquoi certains groupements de molécules avaient de bonnes valeurs diélectriques et d'autres pas.

Il ne peut être question de décrire ces recherches, qui ont absorbé l'énergie de centaines de chi-

mistes pendant ces trois dernières décades. Je voudrais simplement en donner les principaux résultats, à savoir que tous les corps de base (monomères) capables de polymérisation avaient au moins deux atomes de carbone possédant entre eux une liaison double, que la polymérisation pouvait être grandement facilitée par la seule présence, en quantités infimes, de certains produits appelés catalyseurs, qu'il y avait souvent avantage à dissoudre ou émulsionner le monomère dans une phase liquide, enfin qu'on obtenait des produits remarquables en polymérisant un mélange de différents monomères.

La polymérisation, effectuée en bloc, en émulsion ou en solution, donne naissance à des matières plastiques, dont les caractéristiques sont fonction de la constitution chimique du monomère et de la grandeur et de la forme des macromolécules obtenues.

Si le haut-polymère contient encore des liaisons doubles, il peut fixer du soufre et on dit qu'il est vulcanisable. Il peut également fixer de l'oxygène et a de ce fait tendance à vieillir au contact de l'air. La disparition complète des doubles liaisons conduit à des produits insensibles au phénomène d'oxydation. On voit donc qu'en réalisant des haut-polymères libres de doubles liaisons, on a en mains des produits qui ont la supériorité sur les caoutchoucs naturels de ne pas «vieillir».

La chimie organique connaît des milliers de substances polymérisables, mais, seul un nombre relativement restreint a trouvé jusqu'à maintenant des applications industrielles vraiment intéressantes. Ce sont pour la plupart des dérivés de l'acétylène et de l'éthylène. Un très grand nombre d'entre eux contiennent le groupement vinyle $CH_2 = CH -$. Il appartient à l'industrie chimique de les fabriquer à des prix avantageux et de trouver, dans chaque cas particulier, un mode de polymérisation permettant de grouper des milliers de molécules en un tout homogène. Il ne s'agit nullement d'imiter la nature, car on ne peut pas réaliser en quelques heures dans un appareil ce qu'elle fait en un temps extrêmement long par des processus qui sont encore assez mystérieux. Le caoutchouc dit synthétique n'a chimiquement qu'un lointain rapport avec le produit naturel. C'est plus vrai encore pour la soie artificielle Nylon, à laquelle cependant nos aimables compagnes reconnaissent certains avantages sur la soie naturelle, tout au moins en été.

Fig. 4
Câbles isolés exposés 1 et 2 heures aux effets de l'ozone
1 et *2* Caoutchouc naturel
3 et *4* Thermoplaste à base de chlorure de polyvinyle

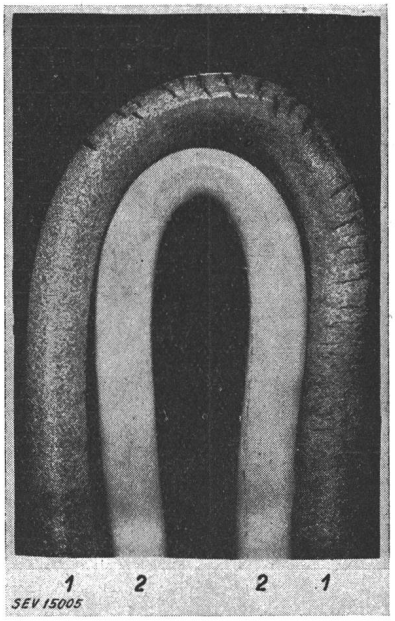


Fig. 5
Câbles isolés exposés 2 heures aux effets d'un mélange air-zone
1 Caoutchouc naturel
2 Thermoplaste à base de chlorure de polyvinyle

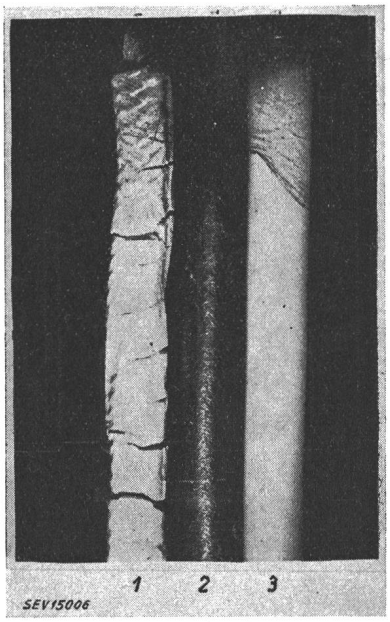


Fig. 6
Câbles isolés immergés 4 jours dans l'huile puis étuvés 4 jours à 80 °C
1 Caoutchouc naturel
2 Caoutchouc synthétique (Néoprène)
3 Thermoplaste à base de chlorure de polyvinyle

Je voudrais retenir votre attention pendant quelques instants sur certaines classes de matières plastiques ayant trouvé une application dans le domaine des isolants électriques. Je m'excuse de devoir employer quelques expressions chimiques, que je limiterai naturellement au strict minimum.

Matières plastiques vulcanisables

Caoutchoucs synthétiques

Commençons par les matières vulcanisables, en particulier les caoutchoucs synthétiques. En fait l'expression n'est pas heureuse. Les recherches ne tendent pas à faire la synthèse du produit naturel, mais bien de trouver des matières nouvelles n'ayant pas certains de ses défauts, à savoir sa sensibilité aux carburants et aux huiles, sa résistance thermique relativement faible, enfin et surtout sa tendance à «vieillir».

Propriétés physiques de quelques caoutchoucs
(Valeurs comparatives d'après *Imhof*)

Tableau I

Types de Caoutchouc	Propriétés diélectriques						Température d'utilisation		Gonflement dans l'huile de Transformateurs 2)
	Résistance spécifique Ω/cm	Caoutchouc brut		Caoutchouc vulcanisé sans noir de fumée		Tension de percement kV/cm	continue environ °C	occasionnelle environ °C 1)	
		tg δ	ε	tg δ	ε				
Caoutchouc naturel	10^{16}	0,004	2,5	0,08...0,02	3,5...5	150	de — 30 à + 60 °C	— 65 à + 75 °C	150
Buna S	10^{14}	0,01	2,8	0,08...0,02	3,5...5	à 300	— 25 à + 75 °C	— 55 à + 90 °C	85
Buna SS	10^{15}	0,01	2,8	0,08...0,02	3,5...5	mesurés	— 20 à + 75 °C	— 50 à + 90 °C	70
Perbunan	10^{9}	0,2	15	0,2...0,5	15...25	sur plaques	— 25 à + 85 °C	— 50 à + 150 °C	5
Perbunan extra	10^{9}	0,2	15	0,2...0,5	15...25	d'un mm	— 20 à + 80 °C	30 à + 100 °C	1
Thiokol A	10^{12}		10	0,05			— 15 à + 50 °C		—

1) Ces valeurs ne peuvent pas être obtenues avec le même mélange.
2) Pourcentage en augmentation de volume d'éprouvettes de 4 mm d'épaisseur et 44,6 mm de ϕ immergées pendant 8 semaines à 20 °C.

Nous avons vu que la polymérisation de l'isoprène, c'est-à-dire du méthyl butadiène

$$CH_2 = \underset{\underset{CH_3}{|}}{C} - CH = CH_2$$

constituant principal du caoutchouc, avait conduit *Hofmann* à des masses correspondant sensiblement à un caoutchouc naturel de médiocre qualité. Pendant la guerre 1914-18, il remplaça l'isoprène par le diméthyl butadiène

$$CH_2 = \underset{\underset{CH_3}{|}}{C} - \underset{\underset{CH_3}{|}}{C} = CH_2$$

et obtint une masse ayant l'apparence du cuir, qui, traitée par le soufre, trouva un emploi intéressant dans la fabrication des bacs d'accumulateurs; on en fabriqua environ 2500 t, mais le manque total d'élasticité à basse température en faisait un très mauvais succédané du caoutchouc naturel.

Il fallait trouver mieux. Les recherches se sont dirigées dans deux directions différentes, à savoir en Amérique et en Russie en partant d'un dérivé chloré du butadiène, le chloroprène

$$CH_2 - \underset{\underset{Cl}{|}}{C} - CH = CH_2$$

et en Allemagne en polymérisant le butadiène lui-même

$$CH_2 = CH - CH = CH_2$$

On parvint ainsi en 1931 au *Duprène*, appelé plus tard *Néoprène*, de Du Pont de Nemours, au *Sowprène* des Russes et aux *Bunas 32, 85 et 115* de l'I. G. Farbenindustrie. Le Néoprène est intéressant par sa résistance chimique, en particulier aux huiles et aux solvants, et il a pu être employé avec succès dans la fabrication des joints, voire même des câbles en remplacement du plomb. Quant aux Bunas chiffrés ce sont des «Ersatz» dont la nécessité était commandée par l'isolement économique de l'Allemagne et qui n'ont pas de valeur en économie libre. Ils sont très inférieurs au caoutchouc naturel, tant en ce qui concerne les facilités de manipulation que les propriétés mécaniques.

C'est alors qu'on se tourna résolument du côté des corps appelés *Interpolymères* (ou Co-polymères), susceptibles de se polymériser conjointement au butadiène et de s'intégrer dans la chaîne du polymère pour donner naissance à une chaîne différente douée de propriétés nouvelles. Le procédé est extrêmement intéressant et le développement des interpolymères marque un tournant décisif dans la chimie des matières plastiques. Il permettra sans doute d'obtenir des produits bien supérieurs à ceux que nous connaissons actuellement.

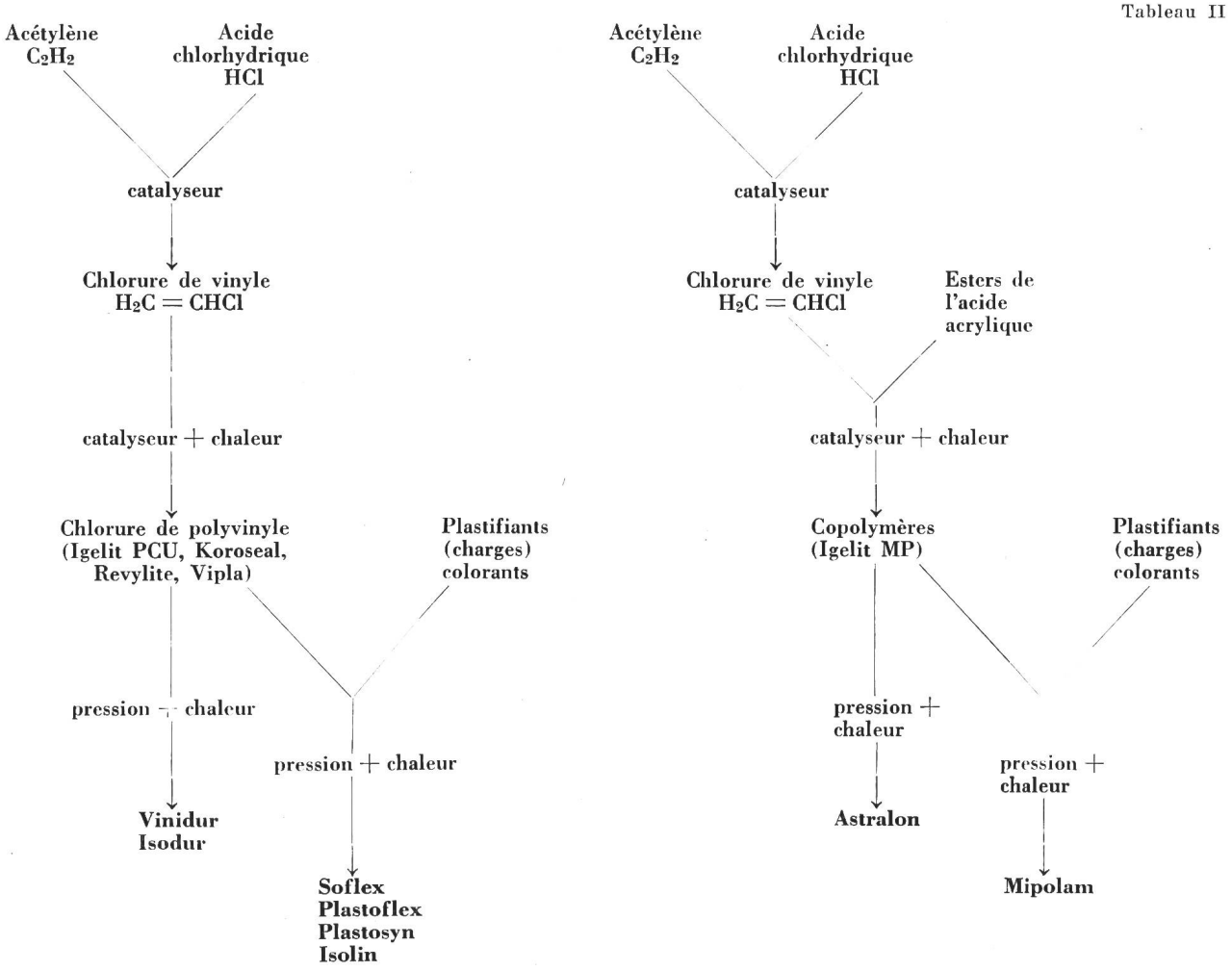
La co-polymérisation du butadiène et du styrolène a conduit les Allemands aux *Bunas S* et *SS* et les Américains au *GR-S*, dont on fabrique actuellement 900 000 t par année. Un traitement thermique à l'air chaud de 110...140 °C a permis de vaincre l'extrême nervosité de ces gommes et leur difficulté de plastification. On obtient ainsi des produits qui ont l'avantage sur le caoutchouc naturel d'être très résistants au vieillissement, à la chaleur et à la pression. Leurs propriétés diélectriques sont semblables à celles du caoutchouc, de telle sorte que ces nouveaux co-polymères ont pu trouver un large emploi dans l'isolement des fils et câbles.

La co-polymérisation du butadiène avec le nitrile acrylique a conduit l'I. G. Farbenindustrie au *Buna N* ou *Perbunan* et les Américains aux *GR-A*, au *Butaprène*, aux *Chemigum N*, aux *Hycars*, etc. Ils sont tous caractérisés par leur résistance thermi-

que et par leur tenue remarquable aux huiles, aux solvants et aux agents oxydants. Leurs valeurs diélectriques sont faibles, surtout à chaud, en partie en raison des plastifiants qu'on doit y incorporer et il ne peut être question de les utiliser comme isolants électriques.

Parmi les matières plastiques vulcanisables ayant été appelées à remplacer le caoutchouc ces dernières années, citons pour mémoire les *Thioplastes* (*Thiokols, Perduren, Carbogum,* etc.) obtenus très simplement par l'action des polysulfures alcalins sur des dihalogénures aliphatiques. Ils ont été fabri-

Tableau II



En co-polymérisant le butadiène avec l'isobutylène

$$CH_3 - \overset{CH_3}{\overset{|}{C}}H = CH_2$$

l'industrie américaine a mis tout récemment au point des hauts-polymères, auxquels on a donné, très illogiquement d'ailleurs, le nom de *Butylcaoutchouc.* Les propriétés en sont remarquables, tant au point de vue résistance mécanique, résistance chimique que valeurs diélectriques. Il semble que ces nouveaux produits soient appelés à un développement des plus intéressants.

En 1944 les fabriques américaines ont utilisé 68 000 t de caoutchouc naturel, 705 000 t de Buna (GR-S), 59 000 t de Néoprène, 132 000 t de Butylcaoutchouc et 60 000 t de Thiokol. Les caoutchoucs artificiels semblent donc remplacer les caoutchoucs naturels, pour autant bien entendu que les prix de revient soient comparables.

qués en Suisse pendant la guerre par l'Uto-Chimie S.A. à Zurich, puis, sur une plus grande échelle, par la Manufacture Suisse de Câbles et Caoutchouc, Altdorf-Uri. Leurs propriétés mécaniques franchement mauvaises, leurs valeurs diélectriques médiocres et leur odeur désagréable en limitent l'emploi, qui ne se justifie qu'en temps de guerre. Leur résistance aux solvants est par contre excellente.

Les graphiques fig. 1...3 et le tableau I donnent une comparaison entre les propriétés de ces différents caoutchoucs naturels et synthétiques.

Matières plastiques non vulcanisables

Nous allons étudier maintenant quelques matières plastiques non vulcanisables, obtenues par polymérisation d'un ou de plusieurs monomères. Ce sont des masses thermoplastiques. Elles se ramollissent donc à une certaine température et reprennent leur état primitif au refroidissement. La température de ramollissement, qui est avant tout fonction de la

Caractéristiques de quelques matières plastiques

Tableau III

Caractéristiques de quelques matières plastiques	Mesures faites par la Fabrique Suisse d'Isolants à Breitenbach		Mesures faites par l'ASE		
	Chlorure de polyvinyle plastifié	Poly-éthylène	Caoutchoucs vulcanisés		Thiokol
			Mélange A	Mélange B	
Valeurs mécaniques					
Résistance à la traction, kg/cm²					
avant le vieillissement	200...300	120...140	69	113	51
après 10 · 24 h à 70 °C	150...250	115...120	66	82	36
Allongement de rupture, %					
Avant le vieillissement	150...300	300...400	368	367	283
après 10 · 24 h à 70 °C	120...250	250...350	370	377	170
Valeurs diélectriques					
Tension de percement, kV/cm					
avant le vieillissement	40...45	45...50	1,6 kV/mm	1,9 kV/mm	0,8 kV/mm
après 10 · 24 h à 70 °C	45...50	45...50	1,4 „	1,8 „	0,8 „
après 24 h dans l'eau	25...40	45...50			
Résistance d'isolement, MΩ/cm					
avant le vieillissement	10^6...10^8	10^8			
après 10 · 24 h à 70 °C	10^6...10^8	10^8			
après 24 h dans l'eau	10^6...10^7	10^8			
après 1 h à 50 °C dans l'eau (mesure faite dans l'eau)	10^4...10^5	10^8			
Autres caractéristiques					
Densité	1,2...1,6	0,92			
Température d'utilisation °C					
Mélange A	− 20 +60	−40 +50			
Mélange B	−10 +80	−40 +50			

grandeur des macromolécules, se place habituellement entre 80 et 150 °C. Il serait naturellement désirable qu'elle soit plus élevée encore, mais, pour l'instant tout au moins, une élévation du point de ramollissement n'a pu être obtenue qu'au détriment de la souplesse à basse température.

Polyisobutylènes

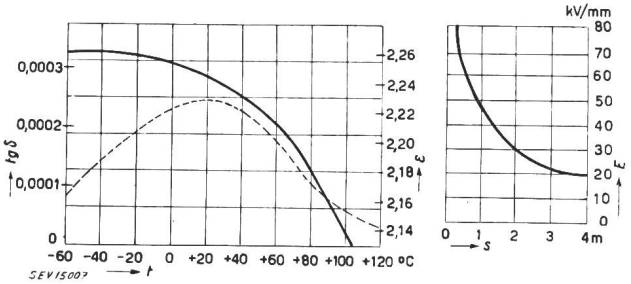
Par polymérisation de l'isobutylène

$$CH_2 = \overset{\displaystyle CH_3}{\underset{\displaystyle CH_3}{C}}$$

avec le fluorure de bore à basse température en milieu d'éthylène liquide, on obtient des polymères présentant un poids moléculaire qui peut atteindre celui du caoutchouc. Ce sont les *Oppanols* allemands et les *Vistanex* américains. Ces produits à longue chaîne paraffinique sont offerts sous la forme de masses collantes, de feuilles ressemblant au caoutchouc plastifié ou au caoutchouc brut. Ils conservent leurs propriétés mécaniques utilisables entre — 50 °C et + 100 °C, résistant aux agents chimiques comme les paraffines et présentant des propriétés isolantes voisines de celles du polystyrolène.

Vous savez que l'action de l'eau sur un corps peut être de trois sortes, à savoir sa dissolution partielle ou totale, sa décomposition par hydrolyse ou l'absorption d'une certaine quantité d'eau par diffusion. Dans les trois cas les propriétés physiques diminuent.

La résistance à l'eau des polyisobutylènes est parmi les meilleures connues. On a donc cherché à les utiliser en lieu et place du plomb dans la fabrication des câbles, où ils présenteraient l'avantage



Constante diélectrique (ε) et facteur de pertes (tg δ) en fonction de la température (*t*)

Tension de percement (*E*) en fonction de l'épaisseur (*s*)

Fig. 7
Quelques caractéristiques du polyéthylène

d'un poids spécifique très bas. Les entreprises Siemens & Halske S.A. ont placé en 1938 un câble de 35 km pour la Reichsbahn, isolé à l'extérieur par deux couches d'Oppanol *(Protodur W* et *H)*. La résistance d'isolement à 10 °C était de 288 000 MΩ pour la longueur totale.

Elle n'avait pas changé lors des mesures de 1940 et 1941. Il serait souhaitable que des essais analogues soient faits en Suisse.

En attendant, les polyisobutylènes ont trouvé des applications intéressantes dans le revêtement des appareils chimiques et comme adhésifs.

Les rapports des missions anglaises et américaines en Allemagne nous apprennent que l'I. G. Farbenindustrie avait développé pendant la guerre un co-polymère avec le styrolène *(Oppanol 0)* présentant des valeurs isolantes encore améliorées. Ce co-polymère pouvait être chargé avec du noir de fumée et du graphite *(Oppanol ORG)*, puis laminé en feuilles. Elles ont trouvé un emploi dans la construction pour isoler de l'eau.

Chlorure de Polyvinyle et Dérivés

En combinant l'acide chlorhydrique gazeux avec l'acétylène, en présence d'un catalyseur, on obtient un gaz, le chlorure de vinyle, qui, polymérisé sous pression, donne naissance à un corps solide appelé chlorure de polyvinyle. Il se présente sous la forme d'une poudre blanche fine, sans odeur, ayant un poids spécifique de 1,38. Il carbonise à la flamme, n'a pas de point de fusion, mais se ramollit lentement au dessus de 85 °C. Il est décomposé par un chauffage prolongé à 180 °C.

Peu avant l'avant-dernière guerre, constatation fut faite qu'en traitant cette poudre blanche, à chaud et sous pression, avec certains liquides dits plastifiants, on obtenait une masse homogène souple. Un brevet fut déposé en Autriche en 1913. Il resta sans lendemain, mais il sortit avec succès des vieux tiroirs, lorsque plus tard l'I. G. Farbenindustrie crut pouvoir empêcher des entreprises suisses de fabriquer de telles masses plastiques.

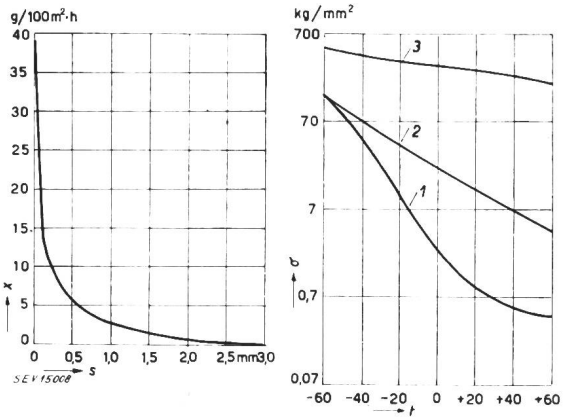
Ce n'est qu'en 1935 que, grâce au développement de l'industrie de l'acétylène et aux recherches faites dans le domaine des hauts-polymères, on fabriqua en Allemagne et en Amérique le chlorure de polyvinyle et ses dérivés. L'industrie suisse s'y intéressa immédiatement et put livrer dès 1937 des fils isolés avec des thermoplastes fabriqués en Suisse avec des matières premières allemandes.

Il est évident que les habitués du caoutchouc virent ces nouvelles masses avec scepticisme, mais, petit à petit, la guerre aidant, les installateurs furent appelés à les utiliser et à prendre confiance. Aujourd'hui ils connaissent tous le *Soflex*, le *Plastoflex*, le *Plastosyn* et l'*Isovin*, dont ils ont placé des millions de mètres avec un succès complet. Ils savent qu'il ne s'agit nullement d'un succédané, mais d'une matière nouvelle présentant des propriétés bien spécifiques.

Le chlorure de polyvinyle peut être mis en œuvre seul après compression à chaud ou en combinaison avec des produits assouplissants. Dans le premier cas on obtient des masses dures, résistant admirablement aux agents chimiques. C'est le *Vinidur* des Allemands. Dans le deuxième cas, on obtient des thermoplastes dont la souplesse est fonction des plastifiants utilisés et des proportions adoptées. Le tableau II schématise ces fabrications:

Pour la fabrication des masses souples., le chlorure de polyvinyle est mélangé avec les plastifiants et éventuellement des charges et des pigments, puis le mélange pulvérulent est conduit sur des mélangeurs à cylindres chauffants (140...150 °C), dans un Banbury ou un Werner. Il est malaxé jusqu'à ce qu'une masse parfaitement homogène se soit formée. Celle-ci peut être mise en forme à chaud par calandrage, boudinage, moulage par compression ou injection, soufflage ou emboutissage. On peut ainsi recouvrir les conducteurs électriques d'une gaine remarquablement isolante.

Une masse souple contient 30...45 % de plastifiants. Les propriétés physiques et chimiques font en grande partie fonction de la qualité des plastifiants utilisés. Aucun d'eux n'est universel et des milliers d'essais ont été nécessaires pour choisir parmi les très nombreux plastifiants offerts par l'industrie chimique ceux qui convenaient le mieux à chaque cas particulier. On a pu réaliser ainsi des masses souples à basse température, d'autres stables à température élevée, d'autres résistant mieux à l'abrasion que le caoutchouc, d'autres ayant une bonne résistance chimique, d'autres enfin douées de valeurs diélectriques particulières.



Perméabilité à l'humidité (x) en fonction de l'épaisseur (s)

Résistance (σ) à la flexion en fonction de la température (t)
1 GR-S
2 Polyéthylène
3 Plexiglas

Fig. 8
Quelques caractéristiques du polyéthylène

Toutes ces masses ont ceci de commun qu'elles sont thermoplastiques. Elles perdent beaucoup de leur résistance mécanique vers 100 °C. Par contre elles résistent admirablement à l'eau, à l'air, à l'ozone, aux acides et alcalis dilués. Elles résistent bien aux huiles et assez bien aux solvants. Leurs propriétés mécaniques sont comparables à celles du caoutchouc. L'élasticité est faible.

Le vieillissement est pratiquement nul à température ordinaire. Il augmente proportionnellement à la température, par évaporation des plastifiants, ce qui provoque une diminution progressive de la souplesse de la masse. Les plastifiants sont cependant choisis de telle sorte qu'il n'y ait pratiquement pas d'évaporation jusqu'à 70 °C, exceptionnellement jusqu'à 100 °C.

Les propriétés diélectriques dépendent beaucoup des plastifiants utilisés, dont les meilleurs sont d'origine américaine et momentanément difficiles à recevoir. Il a cependant été possible de répondre

aux prescriptions de l'ASE qui, je m'empresse de le dire, a bien voulu «s'adapter aux circonstances», ce qu'elle n'a jamais eu à regretter.

L'industrie suisse a su se libérer de l'étranger. La Lonza a entrepris la fabrication du chlorure de polyvinyle au début de la guerre. Aujourd'hui elle n'est pas loin de couvrir les besoins du pays en une qualité excellente. L'Allemagne en faisait 4000 t par mois, l'Amérique ne doit pas être loin de ce chiffre, l'Angleterre en fabrique, l'Italie en fabriquait, la France se prépare à quadrupler sa fabrication actuelle, la Belgique sort les premières charges industrielles. C'est dire que les matières plastiques à base de chlorure de polyvinyle ont gagné leurs galons pendant la guerre.

Le chlorure de vinyle forme des *Co-polymères* intéressants avec l'acétate de vinyle *(Vinylite)*, avec les esters de l'acide acrylique *(Igelit MP)* et avec le chlorure de vinylidène *(Geon 201, 202, 203, 204)*. Les premiers sont utilisés dans l'industrie des vernis et des adhésifs, les seconds dans les mêmes applications que le chlorure de polyvinyle. Ils se ramollissent à relativement basse température et peuvent ainsi être mis en œuvre sur les mêmes machines que le caoutchouc. Le plus connu de ces Copolymères fut le *Mipolam* de Troisdorf. Quant aux copolymères avec le chlorure de vinylidène, il s'agit d'une réalisation américaine sur laquelle il est encore difficile de se prononcer. Les propriétés diélectriques paraissent de très loin supérieures à celles que l'on peut obtenir avec des matières premières se trouvant sur le marché européen. La tenue aux solvants est inférieure à celle des dérivés du chlorure de polyvinyle, mais on peut les travailler à plus basse température, ce qui est souvent avantageux.

Polyéthylène

Les renseignements reçus d'Angleterre et d'Amérique à la fin des hostilités nous ont appris qu'on avait utilisé dans ces pays pendant la guerre des fils isolés avec des polymères de l'éthylène et que la nouvelle matière plastique était douée de propriétés diélectriques bien supérieures à celles des dérivés du chlorure de polyvinyle ou du caoutchouc, surtout à haute fréquence, égales à celles du polystyrolène, mais avec l'avantage d'une souplesse beaucoup plus grande. Elle avait reçu en Angleterre le nom de *Polythène* ou *Alkathènes* et en Amérique de *Polyéthylène* ou *Amphénol*. Elle était thermoplastique.

C'est en Angleterre, dans les laboratoires des Imperial Chemical Industries, qu'on est parvenu, en 1933, à polymériser industriellement l'éthylène. La performance est remarquable et montre que les problèmes de polymérisation les plus difficiles peuvent être résolus. Le gaz, mélangé à environ 1 ‰ d'oxygène comme catalyseur, est conduit dans de longs tubes d'environ 10 mm de ∅, sous une pression de plus de 1000 kg/cm², d'abord à 180... 200 °C, ensuite à 90...100 °C. Une masse plastique ayant l'apparence de la paraffine se forme. Ses propriétés mécaniques et sa température de ramollissement sont fonction du degré de polymérisation. Sa résistance chimique est extraordinaire et ses propriétés diélectriques, à basse et à haute fréquence, la place parmi les meilleurs isolants connus, comme l'indiquent les graphiques fig. 7 et 8, et le tableau III.

Avant la guerre, le polyéthylène était une curiosité de laboratoire, aujourd'hui il est fabriqué en quantités industrielles en Angleterre et en Amérique, sur licences anglaises. Sa mise en œuvre offre quelques sérieuses difficultés, qui, en Suisse aussi, ont pu être maîtrisées ces derniers mois. Aujourd'hui le Polyéthylène est sur le point de devenir dans notre pays le principal isolant des câbles pour haute fréquence et des fils à isolation renforcée, sans compter le domaine des bacs d'accumulateurs, où son inertie chimique le dirige inévitablement.

Conclusion

J'arrive à la fin de mon exposé. Son but n'était pas d'être complet. J'ai simplement cherché à donner une idée des possibilités de la chimie industrielle et de décrire quelques-uns des résultats obtenus dans le domaine des hauts-polymères. J'espère être parvenu à démontrer que les nouvelles matières plastiques que l'on a utilisées ces dernières années n'étaient pas des réalisations de guerre destinées à disparaître, mais bien les étapes d'une évolution qui nous conduira un jour très prochain à des produits encore supérieurs à ceux que j'ai décrits. Peut-être parlerons-nous un jour du *Saran*, du *Styraloy*, du *Styroflex*, du *Nylon*, des dérivés acryliques, du polyvinylcarbazol et de bien d'autres encore.

Est-ce dire que le caoutchouc naturel sera remplacé et qu'il appartient au passé? Les avis diffèrent. Un article paru tout récemment dans une revue technique française conclut à la nette infériorité des produits synthétiques, en particulier des Bunas. Malheureusement il n'est pas précisé de quels Bunas il s'agit. Les revues américaines donnent des conclusions opposées et les usines de synthétiques se multiplient à un rythme infernal.

Je pense que les produits naturels et les produits de synthèse se compléteront utilement. Ces derniers permettront de résoudre des problèmes qui, actuellement, ne le sont pas, car ils ont le gros avantage sur les produits naturels de pouvoir être adaptés aux nécessités de la technique. Ils pourront l'être davantage encore lorsque la chimie des hauts-polymères sera parfaitement connue et, avec elle, les modes de polymérisation.

Des lacunes doivent être comblées, par exemple dans la résistance thermique. Un premier pas a été réalisé avec le *Teflon* et avec les *Silicones*. C'est un début, d'autres suivront. Espérons que ce ne sera pas qu'en Amérique.

Adresse de l'auteur:
Dr. *G. de Senarclens*, Fabrique Suisse d'Isolants, Breitenbach (SO).